



ÍNDICE

Índice de contenidos.....	6
Introducción.....	9
Hipótesis y Objetivos.....	10
Capítulo I. Generalidades.....	11
Capítulo II. Diseño del Método Experimental.....	20
Capítulo III. Normas para los ensayos.....	39
Capítulo IV. Análisis del Método Experimental.....	57
Análisis de resultados.....	99
Análisis de costos.....	103
Conclusiones.....	105
Recomendaciones	108
Bibliografía.....	109
Anexos.....	111

RESUMEN

La presente es una investigación que describe la elaboración de bloques de hormigón, en los que se reemplazó parte de sus componentes tradicionales por aserrín de eucalipto (desechos de la industria maderera). Para ello se adopta las normas para la fabricación de bloques huecos de hormigón como establece la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE - INEN).

La hipótesis planteada es que el conglomerado conseguido de la combinación técnica de partículas de madera y cemento, para la elaboración de bloques, cumple con los requisitos de calidad exigidos en la NTE y, por ende, puede constituirse en una alternativa válida en la innovación de la industria del bloque prefabricado.

De este modo, se conciben las bases teórico-prácticas del diseño experimental y, tras la ejecución del proceso y del análisis de los resultados, se determina el método apropiado para el funcionamiento del proceso y para lograr los resultados y objetivos planteados.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Maestría en Gestión Tecnológica
III Edición

**TEMA: DISEÑO EXPERIMENTAL Y ELABORACIÓN DE BLOQUES
DE CONGLOMERADO MADERA - CEMENTO**

**TESIS DE GRADO PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MASTER EN GESTIÓN
TECNOLÓGICA.**

AUTOR: Ing. CARLOS MAURICIO SÁNCHEZ ALVARRACÍN

DIRECTOR: Dr. PIERCOSIMO TRIPALDI C.

Cuenca, octubre de 2009



AGRADECIMIENTO

Con la convicción de ofrecer un aporte en la innovación tecnológica, agradezco a quienes, con su apoyo, han hecho posible el desarrollo de esta Tesis:

En especial, doy gracias al Creador de donde viene toda la sabiduría.

Doy gracias a mis padres, que supieron sembrar en mí la semilla de la superación.

A la Universidad de Cuenca, por la formación académica recibida.

Al Dr. Piercosimo Tripaldi, director de tesis, quien con su capacidad supo guiar el presente trabajo.

Al personal técnico de los Laboratorios de Ensayos de Materiales y de Tratamientos Térmicos de la Universidad Politécnica Salesiana, por su incondicional apoyo al facilitar las instalaciones y equipos.

Finalmente, expreso mi gratitud a quienes han seguido con interés el desarrollo de este trabajo investigativo, aportando con valiosas sugerencias.

¡Gracias a todos!



DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a
mis queridos padres
Jorge e Isabel,
a mis hermanos y hermanas
por su invalorable apoyo.



RESUMEN

En la presente investigación se describe la elaboración de bloques huecos de hormigón, en los que se reemplazó parte de sus componentes tradicionales (cemento, polvo de piedra y polvo de pómez) por aserrín de eucalipto (desechos de la industria maderera). Para ello, dado que en el Ecuador no existe una Norma que establezca condiciones para la elaboración de bloques fabricados con materiales especiales destinados a obtener densidades reducidas, se adoptan las normas para la fabricación de bloques huecos de hormigón como establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE (INEN).

El punto de partida es el Diseño Experimental de la investigación; y éste se basa en la hipótesis de que el conglomerado conseguido de la combinación técnica de partículas de madera y cemento, para la elaboración de bloques, cumple con los requisitos de calidad exigidos en la Norma Técnica Ecuatoriana y, por ende, puede constituirse en una alternativa válida en la innovación de la industria del bloque prefabricado.

El diseño de los experimentos consiste fundamentalmente, en el análisis previo de aquellos factores o variables clave que intervienen e influyen de forma relevante en el proceso que quiero desarrollar y en el producto que propongo mejorar. Una vez determinados los factores más relevantes se realizan las distintas combinaciones, las mismas que dan como resultado diferentes muestras de bloques; estas son sometidas a ensayos para obtener resultados o respuestas específicas en cada caso.

El tipo de datos que se recoge es lo que determina qué método se puede utilizar para el funcionamiento del proceso. Mediante el estudio y análisis de los resultados, con el cálculo de los efectos de los factores y, considerando las diferentes interacciones entre ellos, se determina el “camino” más apropiado para lograr los resultados esperados.



El Objetivo General que guía este trabajo es el de concebir las bases teórico-prácticas del diseño experimental para la elaboración de bloques de conglomerado madera-cemento que reúnan los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana.

Para llegar a los resultados esperados se sigue los siguientes objetivos específicos:

Conceptualizar el diseño experimental a partir de las características técnicas y de los requisitos de bloques según la Norma Técnica Ecuatoriana - NTE.

Establecer el Método para el diseño Experimental a partir de los modelos Simplex-Lattice y Simplex-Centroide y Polinómico asociados, y aplicarlo en las mezclas para la elaboración del bloque.

Ejecutar los ensayos según los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana para la verificación de las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción de agua y retracción por secado) de los bloques elaborados.

Valorar los resultados con el fin de determinar la validez de los bloques obtenidos mediante este proceso.

Los detalles de todo lo dicho hasta ahora se pueden ver durante el desarrollo de este trabajo, comenzando con el Primer Capítulo de Generalidades, donde consta el ciclo de resolución de problemas del diseño experimental, definición y requerimientos tanto de los bloques como de sus componentes.

En el Capítulo dos se establecen los métodos que se aplicarán en el diseño de los experimentos con las consideraciones necesarias y los pasos para la elaboración de los bloques de conglomerado madera - cemento.

En el Capítulo tres se describe la normativa que se debe seguir para la verificación del cumplimiento de los requisitos para los bloques de concreto (Norma Técnica Ecuatoriana), y se sistematiza el procedimiento de los ensayos ejecutados, especificando el proceso de preparación de muestras, procedimientos, equipos, cálculos y sus resultados.

En el Capítulo cuatro se hace un análisis y valoración de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, y se los presenta en tablas y en gráficos, determinando cuáles son las mezclas que cumplen y cuáles no cumplen con todos



los requerimientos exigidos por las normas. Además se realiza un análisis de costos que determinará la factibilidad de competición en el mercado.

Finalmente, con la validación del producto acabado, se concluye que la combinación de partículas de madera y cemento para la elaboración de bloques constituye una alternativa válida en la innovación de la industria del bloque prefabricado, pudiendo ser implementada en la tecnología de producción de bloques para el desarrollo de un producto competitivo, funcional y de menor costo.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.	
Introducción.....	1
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	3
1.1 Bloques huecos.....	5
1.2 Requisitos de bloques según la Norma Técnica Ecuatoriana.....	6
1.2.1 Dimensiones.....	6
1.3 Materiales.....	7
1.3.1 Cemento.....	8
1.3.2 Madera.....	9
1.3.3 Agregados.....	10
1.3.3.1 Polvo de piedra.....	10
1.3.3.2 Polvo del norte.....	10
1.3.4 Agua.....	11
CAPÍTULO II	
DISEÑO DEL MÉTODO EXPERIMENTAL	12
2.1 Diseño Simplex - Lattice	14
2.2 Diseño Simplex - Centroide y el Modelo Polinómico asociados.....	17
2.3 Consideraciones para las mezclas	20
2.3.1 Elección de las características de la mezcla.....	20
2.3.2 Concreto recién mezclado.....	22
2.3.2.1 Mezclado.....	22
2.3.2.2 Trabajabilidad.....	23
2.3.2.3 Consolidación.....	23
2.3.3 Concreto endurecido.....	24
2.3.3.1 Curado húmedo.....	24
2.3.3.2 Peso unitario.....	24
2.4 Diseño de las mezclas.....	25
2.5 Proceso de elaboración del bloque	28



2.5.1	Preparación de la materia prima.....	28
2.5.2	Dosificación.....	28
2.5.3	Mezclado.....	29
2.5.4	Formación.....	29
2.5.5	Curado.....	30

CAPÍTULO III

	NORMAS PARA LOS ENSAYOS.....	31
3.1	Determinación de la resistencia a la compresión.....	32
3.1.1	El Método.....	33
3.1.2	El Equipo	33
3.1.3	Preparación de las muestras.....	33
3.1.3.1	Preparación y colocación de las capas de mortero de cemento - arena sobre los bloques	33
3.1.3.2	Preparación y colocación de las capas de mortero de azufre - arena sobre los bloques	35
3.1.4	Procedimiento	35
3.1.5	Cálculo.....	35
3.1.6	Interpretación de los resultados.....	35
3.2	Determinación de la absorción de agua	36
3.2.1	Método.....	36
3.2.2	Muestras de ensayo	36
3.2.3	Equipo	36
3.2.4	Procedimiento	36
3.2.5	Cálculo.....	36
3.2.6	Informe de resultados	36
3.3	Determinación de la retracción por secado	37
3.3.1	Método.....	37
3.3.2	Aparatos.....	37
3.3.3	Preparación de las muestras	37
3.3.4	Procedimiento	38
3.3.5	Cálculo.....	38
3.3.6	Expresión de resultados.....	38



3.4	Ensayos no obligatorios.....	39
3.5	Ejecución de los ensayos.....	39
3.5.1	Determinación de la resistencia a la compresión	39
3.5.2	Determinación de la absorción de agua	42
3.5.3	Determinación de la retracción por secado	44
3.5.4	Determinación del aislamiento acústico.....	46

CAPÍTULO IV

	ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49
4.1	Tratamiento estadístico de datos.....	49
4.1.1	Resistencia a la compresión.....	55
4.1.2	Retracción por secado.....	64
4.1.3	Absorción de agua.....	73
4.1.4	Absorción de ruido.....	82
4.2	Análisis de resultados.....	91
4.3	Análisis de costos.....	95

	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	ANEXOS.....	103



INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la industria de bloques prefabricados de concreto en nuestro medio existe una gran competencia por ganar mercado para sus productos. Uno de los principales obstáculos a sortear, para poder competir, son los costos de la materia prima, razón por la cual las empresas deben estar en capacidad de innovar sus productos utilizando materiales alternativos de menor costo, sin alterar sustancialmente la calidad del producto. En este sentido, la utilización de residuos maderables industriales se presenta como una alternativa de materia prima para el desarrollo de las fábricas de bloques locales, aplicando el concepto de concentración vertical, en donde los desechos de una producción, constituyen insumos para otras líneas de flujo.

Un bloque de hormigón consta, generalmente, de cemento, piedra triturada o también pómez en piedra y en polvo, y agua para la hidratación de la mezcla; el planteamiento es adicionar aserrín o partículas de madera de eucalipto a los materiales antes mencionados y en condiciones adecuadas para conseguir bloques bajo los parámetros de las normas técnicas y con un valor agregado.

El aprovechamiento del aserrín en la industria de los bloques prefabricados pretende un aporte en los aspectos técnico, económico y ambiental.

Por un lado, la densidad de la madera, menor a la densidad de la piedra triturada, y su capacidad de absorber el ruido, retener el calor y mantener el clima en un ambiente, hacen que sea un material idóneo para ser usado en la elaboración de bloques.

Por otro lado, la obtención de aserrín, producto del procesamiento industrial de la madera, es de fácil obtención en nuestro medio y su costo es casi nulo; esto se convierte en una ventaja a la hora de disminuir costos, considerando que el bloque prefabricado es un producto muy utilizado para la construcción de viviendas y levantamiento de paredes sobre todo en el sector popular.

Finalmente, el aprovechamiento de los residuos maderables generados en los aserríos viene a ser un importante aporte en el manejo de los recursos forestales



bajo la tesis de desarrollo sostenible, sabiendo que en la ciudad de Cuenca se ha presentado un descuido en el reciclaje de estos recursos.

La hipótesis que planteo para este trabajo es que el conglomerado conseguido de la combinación técnica de partículas de madera y cemento, para la elaboración de bloques, cumple con los requisitos de calidad exigidos en la Norma Técnica Ecuatoriana y, por ende, puede constituirse en una alternativa válida en la innovación de la industria del bloque prefabricado.

Objetivos:

General:

Concebir las bases teórico-prácticas del diseño experimental para la elaboración de bloques de conglomerado madera-cemento que reúnan los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana.

Específicos:

- a. Conceptualizar el diseño experimental a partir de las características técnicas y de los requisitos de bloques según la Norma Técnica Ecuatoriana - NTE.
- b. Establecer el Método para el diseño Experimental a partir de los modelos Simplex-Lattice y Simplex-Centroide y Polinómico asociados, y aplicarlo en las mezclas para la elaboración del bloque.
- c. Ejecutar los ensayos según los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana para la verificación de las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción de agua y retracción por secado) de los bloques elaborados.
- d. Valorar los resultados con el fin de determinar la validez de los bloques obtenidos mediante este proceso.

Siguiendo detenidamente estos pasos, espero llegar a determinar los resultados deseados de la investigación, así como aportar en el campo de la investigación, junto a trabajos similares que se han realizado en nuestro medio.

CAPITULO I

GENERALIDADES

El diseño experimental estudia procesos. Puede considerarse a un proceso como una caja negra a la cual ingresan diversas variables que interactúan para producir un resultado. Las variables que ingresan al proceso se denominan variables de entrada, y el resultado, variable de salida. El nivel de la variable de salida depende de los niveles que adopten las variables de entrada, el beneficio es saber qué combinación de variables de entrada produce la variable de salida óptima.

La búsqueda de combinaciones óptimas de las variables de entrada da lugar al diseño experimental, que es una prueba (o un conjunto de pruebas) durante la cual se realizan cambios sistemáticos y controlados de las variables de entrada para medir el efecto sobre la variable de salida. El diseño experimental utiliza varios modelos óptimos con el objetivo de seleccionar el subconjunto de experimentos que permita obtener la mínima incertidumbre de parámetros de dicho modelo, en el dominio experimental definido.

Seleccionado un criterio de optimalidad y un número prefijado de experimentos, el diseño óptimo está constituido por el subconjunto de experimentos que satisfacen el criterio.

“Un solo experimento no contiene información. Ningún conjunto de experimentos tiene valor específico, si no está en un contexto interpretativo. Un conjunto de experimentos adquiere significado solamente en el contexto de un modelo.” (1)

La planificación de los experimentos permite obtener la máxima cantidad de información con el menor número posible de experimentos, obteniendo menores costos, disminuyendo tiempos y sobre todo aumentando la calidad de los modelos. El diseño experimental efectúa una búsqueda sistemática de las condiciones óptimas y en qué medida resulta ser sensible el resultado óptimo a las variaciones de las condiciones experimentales alrededor de dicho resultado.

Los métodos comunes para la búsqueda de este resultado óptimo son: método de la máxima pendiente, método de las superficies de respuesta y método simplex.

(1) Tripaldi, Piercósimo. Módulo “Diseño Experimental y Optimización de Procesos”. Op. Cit. Pág. 1

Para el desarrollo de un diseño experimental se sigue un ciclo de resolución de los problemas, que es el siguiente:

1. Análisis del problema
2. Planificación de los experimentos
3. Ejecución de los experimentos
4. Tratamiento estadístico de los datos
5. Análisis de los resultados estadísticos
6. Regreso al paso 1

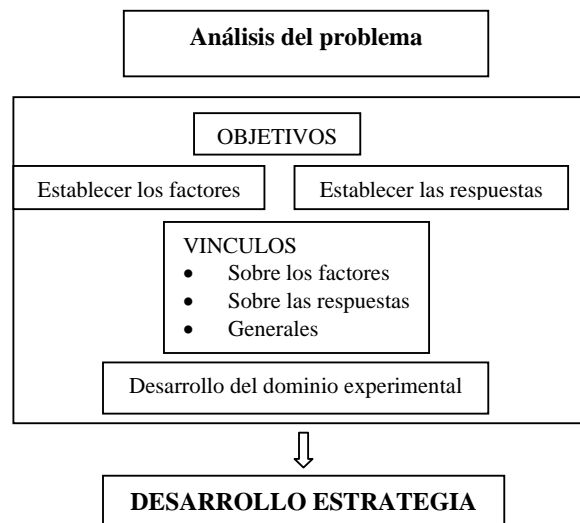


FIGURA 1.1. Ciclo de resolución de problemas

En el análisis del problema se establecen objetivos, que en este caso, el principal es innovar productos utilizando materiales de menor costo sin alterar sustancialmente la resistencia final del producto y que cumpla con la normativa.

Para seguir con el proceso se establecen factores que son las causas del fenómeno estudiado y las proporciones de los materiales que se utilizarán en las mezclas (cemento, piedra, pómez, aserrín y agua) dentro de sus límites. La selección de estos factores dará la respuesta experimental, es decir, la medida del fenómeno estudiado bajo la dependencia de los factores considerados; las respuestas a estudiar son la resistencia a compresión, porcentajes de retracción por secado y absorción de agua, niveles de absorción de ruido y costos de los bloques con mezclas diferentes.

Además se debe definir el “*dominio experimental que es el subconjunto de los puntos en el espacio de las variables para los cuales es posible efectuar un experimento*”. (1)

Los diferentes pasos del diseño experimental se desarrollan en los siguientes capítulos de este estudio.

1.1 BLOQUES HUECOS

Para comenzar el estudio se da una definición de **bloque hueco de hormigón** según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638: “*es un elemento simple hecho de hormigón, en forma de paralelepípedo, con uno o más huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea del 50% al 75% del volumen total del elemento*”. (1)

Las condiciones generales que cumplen los bloques huecos de hormigón son impermeabilidad, resistencia y uniformidad en sus dimensiones; su capa de aire interior sirve de aislante y a su vez evita peso muerto.

Los bloques huecos de hormigón se clasifican de acuerdo a su uso en cinco tipos, como se indica en la Tabla 1.1

TABLA 1.1 Tipos de bloques huecos de hormigón y sus usos

TIPO	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento.
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento.
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento.
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento. Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento.
E	Losas alivianadas de hormigón armado.

(1) Tripaldi, Piercósimo. “Módulo Diseño Experimental y Optimización de Procesos”. Op. Cit. Pág. 4

(1) Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638. Bloques huecos de hormigón, definiciones, clasificación y condiciones generales. Op. Cit. Pág. 1

Según su densidad se clasifican en tres grupos:

Livianos: hasta 1200 kg/m^3 , usado en muros interiores, divisorios y ligeros.

Medios: desde 1200 kg/m^3 hasta 1800 kg/m^3 , empleados en paredes exteriores sin carga.

Pesados: más de 1800 kg/m^3 , se utilizan en muros exteriores, bardas y cargas ligeras.

Los bloques de este trabajo se componen de aserrín (virutas de madera) de eucalipto, de textura homogénea, y conglomeradas con cemento Portland Pozolánico.

Las virutas, al estar revestidas con cemento, forman una estructura estable, compacta, resistente y duradera, a la vez que su estructura alveolar permite un buen comportamiento térmico y da ligereza al bloque. El material es transpirable e inocuo.

La madera y el cemento Portland son componentes naturales, por lo que no hay riesgo de contaminación durante las fases de fabricación o ejecución de los muros y, por consecuencia, tampoco en las fases de reciclado. El material no contiene ningún compuesto tóxico, no produce gases nocivos y no es radioactivo. Las características físicas como la transpiración, la ausencia de cargas electrostáticas, la capacidad de acumular calor, la propiedad de regular la humedad y aumentar las propiedades de aislamiento acústico, garantizan condiciones de habitabilidad óptimas. También, el conglomerado madera cemento, no está sujeto a degradación química o biológica con un correcto tratamiento de las partículas de madera. Por todos estos motivos el conglomerado madera cemento puede considerarse como un material ecológico.

El tratamiento mineralizante, mantiene intactas las propiedades mecánicas de la madera, deteniendo los procesos de deterioro biológico, convirtiendo a la madera en un material prácticamente inerte y aumentando su resistencia al fuego.

1.2 REQUISITOS DE BLOQUES SEGÚN LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE)

Dentro de la Norma INEN 638 se encuentran las condiciones generales para la fabricación de bloques huecos de hormigón:

1.2.1 Dimensiones

El espesor de las paredes de los bloques no debe ser menor de 25 mm, en los bloques tipo A y B, de 20 mm, en los bloques tipo C, D y E.

La dimensión real de un bloque debe ser tal que, sumada al espesor de una junta, dé una medida modular. Los bloques deben tener las dimensiones indicadas en la Tabla 1.2.

Por convenio entre el fabricante y el comprador, podrán fabricarse bloques de dimensiones diferentes de las indicadas en la tabla 1.2.

Los bloques de un mismo tipo deben tener dimensiones uniformes, no se permite entre ellas una variación mayor de 5 mm.

TABLA 1.2. Dimensiones de los bloques.

	DIMENSIONES NOMINALES			DIMENSIONES REALES		
TIPO	largo	Ancho	alto	largo	ancho	alto
A, B	40	20, 15, 10	20	39	19, 14, 09	19
C, D	40	10, 15, 20	20	39	09, 14, 19	19
E	40	10, 15, 20, 25	20	39	09, 14, 19, 24	20

La Norma INEN 643 comprende los bloques huecos de hormigón de cemento que se emplean en la construcción de paredes, paredes soportantes, paredes divisorias no soportantes y losas alivianadas de hormigón armado.

De acuerdo a la clasificación antes establecida, los bloques huecos deberán cumplir con los requisitos que se indican en la tabla 1.3.

TABLA 1.3. Requisitos de resistencia a la compresión que deben cumplir los bloques huecos de hormigón.

TIPO DE BLOQUE	Resistencia mínima a la compresión en MPa a los 28 días (Norma INEN 640).
A	6
B	4
C	3
D	2,5
E	2

La absorción de agua en los bloques se determinará de acuerdo con la Norma INEN 642 y no podrá ser mayor del 15%.

Las muestras de bloques se seleccionarán de acuerdo a la Norma INEN 639.

1.3 MATERIALES

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638, los bloques deben elaborarse con cemento Portland o Portland especial, áridos finos y gruesos, tales como arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias y otros materiales inorgánicos inertes adecuados.

Las materias primas empleadas en la fabricación de los bloques de conglomerado madera cemento son, básicamente, aserrín de madera no ácida conglomerada con cemento Portland Puzolánico, piedra triturada, polvo de piedra pómez y agua para hidratar la mezcla que posteriormente es moldeada y secada.

La materia base, viruta de madera, es deshumificada mediante silicato cálcico para así conseguir la resistencia al moho y evitar la putrefacción y el ataque de insectos o roedores.

A continuación se describen cada uno de los componentes de los bloques de conglomerado madera cemento:

1.3.1 CEMENTO

La Norma INEN 152 define al cemento portland como *"cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, conteniendo usualmente una o más de las formas del sulfato de calcio como adición de molienda"*. (1)

El cemento a utilizar en la elaboración de bloques debe cumplir con las características y requisitos físicos y químicos de la Norma INEN 152, INEN 490 y la Norma INEN 1548 para el Cemento Portland.

El cemento empleado para este experimento fue producido por la empresa GUAPAN S. A, en la ciudad de Azogues, Ecuador y cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 490, correspondiente a un Cemento Portland Pozolánico Tipo IP.

Las puzolanas son materiales silíceos o alúmino-silíceos producidos por enfriamiento brusco de la lava, los cuales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio, a temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes, según el código ASTM (1992), 618-78.

El cemento puzolánico es un fino polvo que se produce a partir de mezclar íntimamente y moler, en un molino de bolas, una mezcla de hidrato de cal y puzolana con una proporción promedio de 70% de puzolana y 30% de cal. El material producido requiere tener una finura de (250-300 m²/kg) similar a la del cemento portland ordinario.

Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación:

- ✓ Mayor durabilidad del cemento.
- ✓ Mejora en la resistencia frente al agua del mar.
- ✓ Mejor defensa ante los sulfatos y cloruros.
- ✓ Aumento en la resistencia a la compresión.
- ✓ Incremento de la impermeabilidad por la reducción de grietas en el fraguado.
- ✓ Disminución del calor de hidratación.

(2) Norma Técnica Ecuatoriana INEN 152. Cemento Portland. Requisitos. Op. Cit. Pág. 1

- ✓ Mejora en la resistencia a la abrasión.
- ✓ Menor necesidad de agua.

1.3.2 MADERA

“La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas”. (1)

Lo que ha hecho de la madera un material tan utilizado son sus propiedades características como la facilidad de trabajar y darle forma mediante las herramientas adecuadas, su baja densidad y peso, su dureza, propiedad que le confiere resistencia, aunque varía mucho de unos tipos a otros de madera, la flexibilidad que presentan muchas maderas para ser dobladas en sentido de sus vetas, la mala conductividad del calor y la electricidad lo que le hace un material aislante y algo muy importante por ser un recurso natural lo tenemos a nuestra disposición en todo lugar.

La clasificación de la madera puede realizarse a partir de diversos parámetros. Por su textura (cualidad de cohesión entre las fibras internas), se distinguen maderas blandas, también llamadas blancas, ligeras o tiernas, y maderas duras. En nuestra región se pueden encontrar principalmente las maderas blandas como el pino, ciprés y eucalipto, estas maderas tienen una gran resistencia a desprenderse de la humedad y los procesos de secado para su deshinchamiento son de largo tiempo si se lo hace a la intemperie. Así mismo, son resistentes sobre todo a la compresión y al desgarrar, pero su debilidad frente a los mohos y hongos obliga, en los usos al aire libre a realizarles un tratamiento. En cuanto a maderas duras podemos encontrar el aliso y de la costa y oriente de nuestro país provienen las maderas como: caoba, cedro, laurel, seike, canelo, entre otras, que se pueden conseguir fácilmente en nuestro medio. Su gran consistencia, su resistencia a la tracción y su relativamente fácil secado hacen que su duración sea mayor que las blandas, además al ser ácidas son difícilmente atacadas por mohos y hongos, pero su costo es mucho más elevado.

(1) KEYSER, Carl A. Ciencia de Materiales para Ingeniería. Op. Cit. Pág. 385



Para la fabricación de los bloques, se usó serrín de madera no ácida (eucalipto) de textura homogénea, es decir son de madera blanda mineralizada y conglomerada con cemento Portland. Para este fin, las maderas necesitan un tratamiento mineralizante que mantiene intactas las propiedades mecánicas, deteniendo el proceso de deterioro biológico, convirtiendo a la madera en un material prácticamente inerte y aumentando su resistencia al fuego. Las virutas al estar revestidas con cemento forman una estructura estable, compacta, resistente y duradera y, a su vez, permite un buen comportamiento térmico y da ligereza al bloque, además la madera mineralizada es resistente a la humedad.

1.3.3 AGREGADOS

Los áridos a utilizarse en la elaboración de los bloques deben cumplir con los requisitos de la Norma INEN 872 que comprende a los áridos naturales y a los obtenidos por trituración de la grava o piedras naturales y, además, pasar por un tamiz de abertura nominal de 10 mm.

En la mezcla para la elaboración de los bloques de conglomerado madera - cemento se emplearon dos tipos de agregados los cuales son conocidos, en la empresa donde se elaboraron dichos bloques, como polvo de piedra y polvo del norte.

1.3.3.1 Polvo de piedra: se le conoce como polvo de piedra a la piedra triturada de origen natural (canteras), que la Norma INEN 872 la clasifica como angular y la describe como poseedora de bordes bien definidos, formados en la interacción de caras planas ásperas.

1.3.3.2 Polvo del norte: es la piedra pómez con tamaño de grano pequeño (inferior a 10 mm), definida por la Norma INEN 872 como panaloide. Su característica principal son los poros y cavidades visibles. *“La piedra pómez es una roca magmática volcánica vítrea, con baja densidad, resistente al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua”* (1) . Por su porosidad, la resistencia al impacto es muy baja.

(1) Microsoft Corporation. Enciclopedia Encarta 2000.

1.3.4 AGUA

La Norma INEN 638 establece que el agua que se utilice para la elaboración de los bloques debe ser dulce, limpia, de preferencia potable y libre de cantidades apreciables de materiales nocivos como ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas.

En la elaboración de bloques de concreto, el agua tiene dos aplicaciones diferentes; la primera es hidratar la mezcla y la segunda es mantener el aire saturado de agua en las cámaras de curado mediante el uso de rociadores.

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino que también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

Para la construcción de los bloques de conglomerado madera - cemento se utilizó agua potable.

Una de las propiedades más importantes de los materiales anteriormente descritos para este estudio es la densidad, ya que de esta depende el peso de los bloques que se elaborarán y una de las finalidades de esta investigación es disminuir el peso de los mismos. En la tabla 1.4 se muestran los valores de las densidades de cada uno de los componentes de los bloques.

TABLA 1.4. Densidades de los componentes de los bloques

Material	Densidad (kg/dm ³)
Madera (eucalipto)	0.6
Piedra pómez	0.7
Piedra triturada (grava)	2.6
Cemento	3.1

CAPITULO II

DISEÑO DEL METODO EXPERIMENTAL

En una mezcla de experiencia, los factores son independientes de la proporción de los diferentes componentes de una mezcla. Por ejemplo, si se desea optimizar la resistencia a la compresión de los bloques, los factores de interés serían la proporción de cemento, polvo de piedra, polvo de pómez y aserrín conglomerados. El hecho de que las proporciones de los distintos factores deben sumar el 100% complica el diseño, así como el análisis de la mezcla de los experimentos.

Cuando la mezcla de componentes está sujeta a la limitación de que se deben a una suma, hay diseños de mezcla estándar para la instalación de modelos estándar, como el diseño Simplex – Lattice y el diseño Simplex – Centroide. Cuando se mezcla, los componentes están sujetos a restricciones adicionales, como un máximo y/o el valor mínimo para cada componente, estos diseños fuera de lo habitual se los denomina diseños de mezcla limitada o Extreme – Vértices.

“En una mezcla de experiencia, se supone que las respuestas medidas sólo dependen de las proporciones relativas de los ingredientes o componentes de la mezcla y no de la cantidad de dicha mezcla”. (1)

La cantidad de una mezcla también puede ser estudiada como un factor adicional en el experimento, sin embargo, esto sería un ejemplo de mezcla de variables de proceso y deberían ser tratados conjuntamente.

La principal distinción entre la experimentación y la mezcla variable independiente es que en los experimentos con las primeras, la entrada de las variables o componentes de las cantidades proporcionadas de la mezcla no son negativas, y se expresa como fracciones de la mezcla y el resultado se debe a la suma de sus fracciones. Si por alguna razón, la suma de las proporciones es inferior a uno, las variables de la proporción pueden ser reescritas como escala de fracciones a fin de que dichas fracciones sumen uno.

El objetivo del experimento es el modelo de mezcla de superficie con algún tipo de ecuación matemática de modo que:

(1) <http://www.itl.nist.gov>

- Las predicciones de la respuesta para cualquier mezcla o combinación de los ingredientes se puedan hacer empíricamente, o
- alguna medida de la influencia sobre la respuesta de cada componente por separado y en combinación con otros componentes se puedan obtener.

“Las hipótesis de partida habitual para experimentos factoriales son también hechas para mezclas experimentales. En particular, se supone que los errores son independientes e idénticamente distribuidos con media cero y varianza común. Otro supuesto que se hace al igual que con los diseños factoriales, es que la verdadera respuesta de la superficie subyacente es continua en la región en estudio”. (1)

Según Cornell, la planificación de un experimento de mezcla típicamente involucra los siguientes pasos:

- *Definir los objetivos del experimento.*
 - *Seleccionar la mezcla de componentes y cualquier otro factor a estudiar. Otros factores pueden incluir variables de proceso o de la cantidad total de la mezcla.*
 - *Identificar las limitaciones a la mezcla de componentes o de otros factores con el fin de especificar la región experimental.*
 - *Identificar la variable respuesta(s) a ser medida.*
 - *Proponer el modelo adecuado para el modelado de datos de respuesta en función de la mezcla de componentes y otros factores seleccionados para el experimento.*
 - *Seleccionar un diseño experimental que no sólo sea suficiente para encajar el modelo propuesto, sino que permita una prueba de suficiencia y modelo.*
- (2)

El Problema de la Mezcla Original:

En este diseño se trata la descripción más general del problema de la mezcla que es donde las proporciones del componente son satisfacer la necesidad $x_i \geq 0$, $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1.0$. Cada proporción del componente x puede tomar valores del

(1) <http://www.itl.nist.gov>

(2) Cornell, John A. Experiments with Mixtures. Op. Cit. Pág. 8

cero a la unidad y todas las mezclas entre los ingredientes es posible. Este trabajo está concentrado en el montaje de ecuaciones matemáticas para modelar la superficie de la respuesta sobre el espacio de factor de simplex entero, para que la predicción empírica de la respuesta a cualquier mezcla sobre el simplex entero sea posible.

Lo que significa planear un modelo o una ecuación que se postule para representar la superficie de la respuesta. Se escoge un plan que apunte a éste, entonces se puede recopilar observaciones a las que la ecuación puede ajustarse o, (pueden estimarse coeficientes en la ecuación de la regresión). Finalmente, la suficiencia del modelo se prueba. Este paso del examen final es asegurar que la ecuación ajustada sea una herramienta de la predicción con la que se pueda sentir confianza.

La sucesión modelada mencionada simplemente se alterará ligeramente. Primero se discuten los diseños de la simplex-lattice que fueron introducidos por Scheffé en los años (1958-1965) del período en el que la investigación en experimentos de mezclas era desarrollada. Estos diseños son acreditados por muchos investigadores para ser la fundación en la que la teoría de diseños experimentales para las mezclas fue construida, y todavía estos diseños se usan mucho hoy. A continuación se presenta a los modelos polinómicos asociados a ser ajustados a datos que están reunidos en los puntos de estos diseños.

2.1. DISEÑO SIMPLEX-LATTICE

“Para acomodar una ecuación polinómica que represente la superficie de la respuesta sobre la región del simplex entero, una opción natural para un plan sería una de quien se extiendan puntos uniformemente encima del espacio de factor de simplex entero. Un arreglo consiste en una distribución uniformemente espaciada de puntos en un simplex conocido como una lattice. El nombre lattice se usa para hacer referencia a una serie de puntos”. (1)

Una lattice puede tener una correspondencia especial a una ecuación polinómica específica. Por ejemplo, apoyar a modelos polinómicos de grado m en componentes de q encima del simplex, la lattice, llamado un $\{q, m\}$ consiste en

(1) Cornell, John A. Experiments with Mixtures. Op. Cit. Pág. 22

puntos cuyas coordenadas son definidas por las combinaciones de las proporciones del componente; las proporciones asumidas por cada componente toma los valores $m + 1$ igualmente espaciados de 0 a 1, es decir,

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (2.1)$$

y el simplex-lattice $\{q, m\}$ consiste en todas las posibles combinaciones (mezclas) de los componentes donde las proporciones (2.1) se usan para cada componente.

La inscripción de las combinaciones del componente específicas que comprenden el $\{q, m\}$ de la simplex-lattice se ilustra como sigue. Se considera un sistema de componentes $q = 3$, donde el espacio de factor para todas las mezclas es un triángulo equilátero. Cada componente asume las proporciones $x_i = 0, \frac{1}{2}$, y 1 para $i = 1, 2$, y 3. Poniendo $m = 2$, para las proporciones en la Eq. (2.1), se puede usar un modelo del segundo grado para representar la superficie de la respuesta encima del triángulo. El simplex-lattice $\{3, 2\}$ consiste en los seis puntos en el límite del triángulo

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0\right), \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}\right), \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

Los tres puntos como los que se definen $(1, 0, 0)$ o $x_1 = 1, x_2 = x_3 = 0$; $(0, 1, 0)$ o $x_1 = x_3 = 0, x_2 = 1$; y $(0, 0, 1)$ o $x_1 = x_2 = 0, x_3 = 1$, representan las mezclas del componente solo y estos puntos son los tres vértices del triángulo. Los puntos $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0\right), \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}\right)$ y $\left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$ representan las mezclas binarias o mezclas de dos componentes $x_i = x_j = \frac{1}{2}, x_k = 0, k \neq i, j$, para que las proporciones de los componentes que no son cero sean iguales. Las mezclas binarias se localizan en los puntos medios de los tres bordes del triángulo. La simplex-lattice $\{3, 2\}$ es mostrada en Figura 2.1.

En otro ejemplo, se supone que el número de niveles igualmente espaciados (o proporciones) son tres, y se tiene para cada componente, $x_i = 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1$. Si se considera todas las posibles mezclas de los tres componentes con estas proporciones, entonces la simplex-lattice $\{3, m = 3\}$ contiene la mezcla de coordenadas de la Figura 2.1.

Cada una de las proporciones de los componentes en cada mezcla o la mezcla es unidad o un número fraccionario y la suma de los fragmentos igual a la unidad. Cuando se traza como un arreglo de la lattice estos puntos representan una serie de mezclas de las componentes que son simétricas con respecto a la orientación del simplex (es decir, simétricas con respecto a los vértices y los lados del simplex). El arreglo de los 10 puntos de un $\{3, 3\}$ la simplex-lattice se presenta en Figura 2.1.

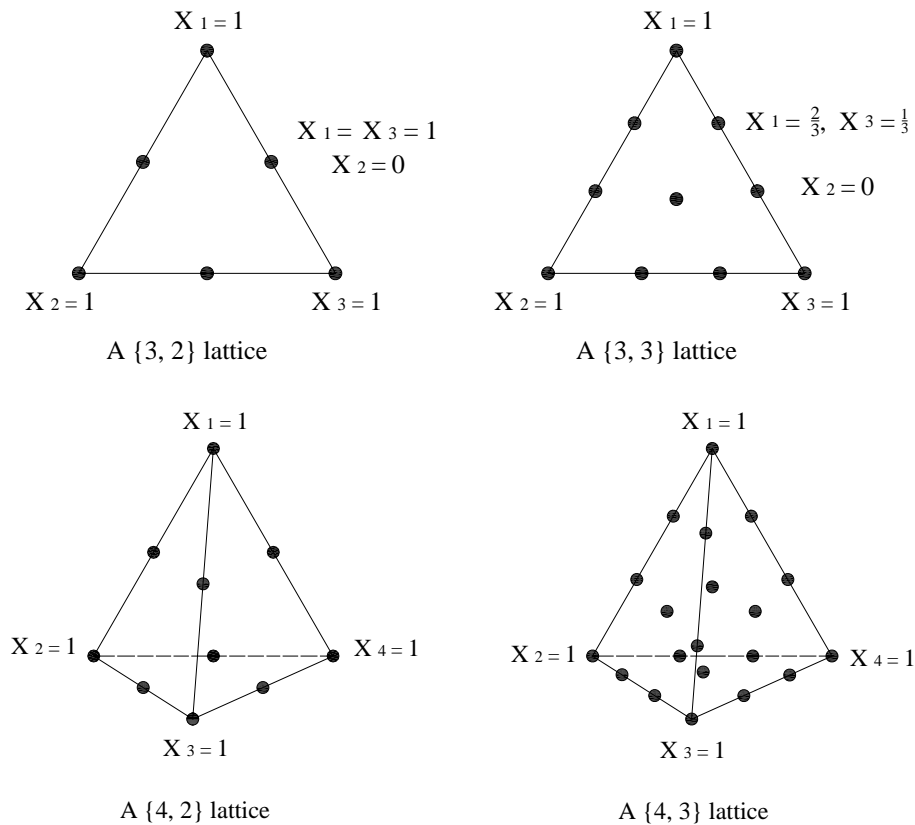


FIGURA 2.1. Arreglos de la simplex-lattice $\{3, m\}$ y $\{4, m\}$, $m = 2$ y $m = 3$

El sistema de la coordenada que se está usando con los componentes de la mezcla se llama sistema de coordenadas de simplex. Con tres componentes, por ejemplo, el sistema de la coordenada triangular es representado por los valores fraccionarios en paréntesis (x_1, x_2, x_3) donde cada $0 \leq x_i \leq 1$, $i = 1, 2$ y 3 y $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Varios puntos de composición son escogidos en el sistema triangular presentado en Figura 2.2. Cuando allí parece no ser ninguna ocasión para confusión, la composición $(x_1 = a_1, x_2 = a_2, x_3 = a_3)$ se denota por (a_1, a_2, a_3) .

El número de puntos del diseño en el $\{q, m\}$ simplex-lattice es $\binom{q+m-1}{m} = (q+m-1)!/m!(q-1)!$ donde $m!$ es “ m factorial” y $m! = m(m-1)(m-2)\cdots(2)(1)$. [El símbolo $\binom{a}{b}$ es el símbolo del combinacional para el número de maneras a que pueden ser tomadas como b en un momento y $\frac{a!}{b!(a-b)!} = a!/b!(a-b)!$]. En el simplex-lattice $\{3,2\}$, por ejemplo, el número de puntos es $\binom{3+2-1}{2} = 4!/2!2! = 6$, mientras el $\{3,3\}$ la simplex-lattice consiste de $\binom{3+3-1}{3} = 10$ puntos. En la simplex-lattice $\{q, m\}$, los puntos corresponden a puros o mezclas de un solo componente, a binario o mezclas de dos componentes, a ternario o mezcla de tres componentes y así sucesivamente a m componentes. En Figura 2.1 el $\{4, 2\}$ y $\{4, 3\}$ muestran simplex-lattices. La Tabla 2.1 lista el número de puntos en un $\{q, m\}$ simplex-lattice para los valores de q y m desde $3 \leq q \leq 10$, $1 \leq m \leq 4$.

TABLA 2.1. Número de puntos en la simplex-lattice $\{q, m\}$ para $3 < q < 10$, $1 < m < 4$ donde el número de niveles para cada componente es $m + 1$

Grado del modelo (m)	Número de componentes (q)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	4	5	6	7	8	9	10
2	6	10	15	21	28	36	45	55
3	10	20	35	56	84	120	165	220
4	15	35	70	126	210	330	495	715

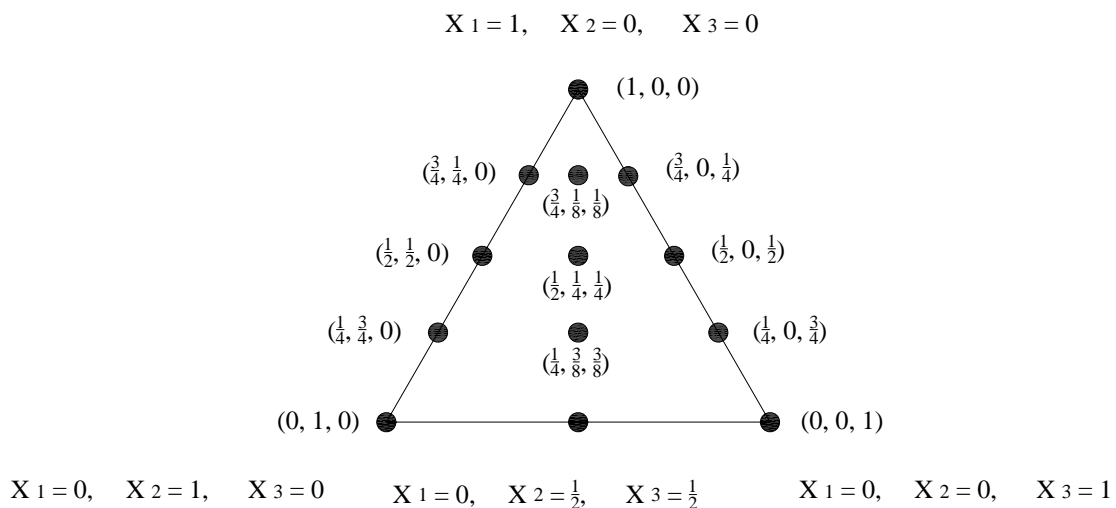


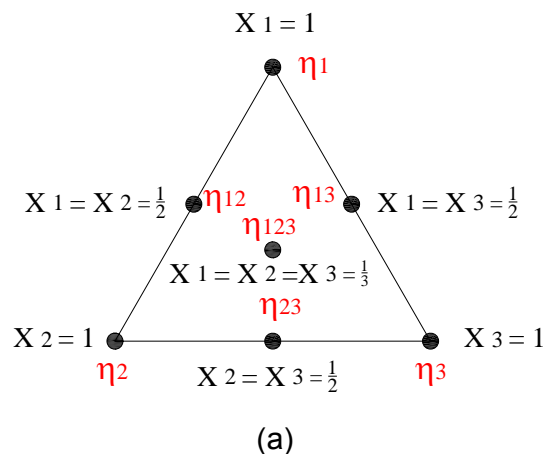
FIGURA 2.2. Coordenadas triangulares (x_1, x_2, x_3) .

2.2 EL DISEÑO SIMPLEX-CENTROIDE Y EL MODELO POLINÓMICO ASOCIADOS

En un diseño simplex-centroide de q componentes, el número de puntos distintos es

$$2^q - 1 \quad (2.2)$$

Estos puntos corresponden a las q permutaciones de $(1,0,0,\dots,0)$ o el componente solo de la mezcla q , las $\frac{q}{2}$ permutaciones de $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \dots, 0)$ o todas las mezclas binarias, las $\frac{q}{3}$ permutaciones de $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0)$,....., y así sucesivamente, y finalmente el punto centroide global $(1/q, 1/q, \dots, 1/q)$ o mezcla del q -enésimo. En otras palabras, el plan consiste de cada subconjunto de los componentes de q , pero sólo con mezclas en las que los componentes que están presentes aparecen en proporciones iguales. Se localizan tales mezclas al centroide del $(q - 1)$ del simplex dimensional y al centroide de todos los simplices contenidos dentro del $(q - 1)$ del simplex dimensional. En la Figura 2.3 se presenta el diseño de tres componentes y de simplex-centroide de cuatro-componentes.



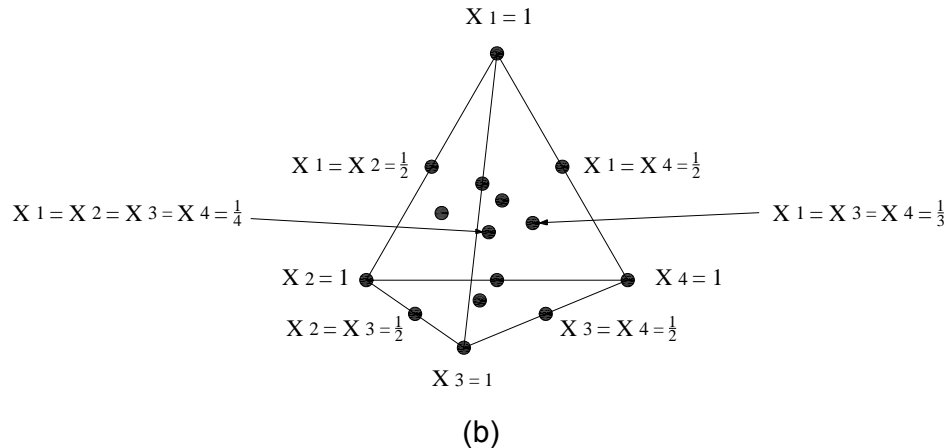


FIGURA 2.3. Simplex-centroide diseñado para (a) tres componentes, y (b) cuatro componentes.

“Los puntos del diseño simplex-centroide y los datos de la respuesta son reunidos y ajustados a un polinomio que tiene el mismo número de términos (o parámetros estimados) como los puntos que están en el plan asociado”. (1)

La ecuación polinómica es

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \beta_{12\dots q} x_1 x_2 \dots x_q \quad (2.3)$$

El parámetro β_i en Eq. (2.3) representa la respuesta esperada al componente puro i y se llama valor del componente lineal mezclado de i , y β_{ij} es el coeficiente del no aditivo de la mezcla de componentes i y j . Los otros β_{ijk} 's se definen de forma semejante.

Los $2^q - 1$ parámetros en el polinomio Eq. (2.3) son expresados como funciones lineales de las respuestas esperadas a los puntos del diseño simplex-centroide. Por ejemplo, si se sustituye η_i , η_{ij} y η_{ijk} en Eq. (2.3) para las respuestas a $x_i = 1$, $x_j = 0$, $j \neq i$, a $x_i = x_j = \frac{1}{2}$, y a $x_i = x_j = x_k = \frac{1}{3}$, respectivamente, para todo i , j , y k , entonces los parámetros son

$$\beta_i = \eta_i,$$

(1) Cornell, John A. Experiments with Mixtures. Op. Cit. Pág. 62

$$\beta_{ij} = 2\{2^1\eta_{ij} - 1^1(\eta_i + \eta_j)\},$$

$$\beta_{ijk} = 3\{3^2\eta_{ijk} - 2^2(\eta_{ij} + \eta_{ik} + \eta_{jk}) + 1^2(\eta_i + \eta_j + \eta_k)\},$$

$$\beta_{ijkl} = 4\{4^3\eta_{ijkl} - 3^3(\eta_{ijk} + \eta_{ijl} + \eta_{ikl} + \eta_{jkl}) + 2^3(\eta_{ij} + \eta_{ik} + \eta_{il} + \eta_{jk} + \eta_{jl} + \eta_{kl}) - 1^3(\eta_i + \eta_j + \eta_k + \eta_l)\}$$

(2.4)

En general, si se escribe S_r para denotar cualquier subconjunto $\{i_1, i_2, \dots, i_r\}$ de r elementos de $\{1, 2, \dots, q\}$, entonces la fórmula general para los parámetros del modelo es

$$\beta_{S_r} = r\{r^{r-1}L_r(S_r) - (r-1)^{r-1}L_{r-1}(S_r) + \dots + (-1)^{r-1}1^{r-1}L_1(S_r)\}$$

$$= r\left\{\sum_{t=1}^r (-1)^{r-t} t^{r-1} L_t(S_r)\right\}$$

(2.5)

donde $L_t(S_r)$ es la suma de las respuestas de todos $\binom{r}{t}$ de las mezclas del t -ésimo con proporciones iguales formadas de los componentes de r en S_r .

2.3 CONSIDERACIONES PARA LAS MEZCLAS

El objetivo al diseñar una mezcla para bloques de conglomerado madera-cemento consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un bloque que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla del conglomerado madera-cemento bien proporcionada deberá poseer las siguientes propiedades:

- ✓ En la mezcla fresca, trabajabilidad aceptable.
- ✓ En la mezcla endurecida, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- ✓ Economía.

2.3.1 ELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Se realiza en base al uso que se propone dar al bloque (Tabla 1), a las condiciones de exposición, a su tamaño y a las propiedades físicas (tales como la resistencia, absorción de agua y retracción), que se requieren.

Las mezclas del concreto para la elaboración de los bloques se especifican en forma de relación entre volúmenes de cemento, polvo de piedra pómez, piedra triturada, aserrín y el agua utilizados. Por ejemplo, una mezcla 2:5:4:3 consiste en dos partes de cemento, cinco partes de polvo de piedra pómez, cuatro partes de piedra triturada y tres partes de aserrín de madera. Según su aplicación, se alteran estas proporciones para conseguir cambios específicos en sus propiedades, sobre todo en cuanto a resistencia y duración. La cantidad de agua que se añade a las diferentes muestras que se propondrán será constante y es igual al volumen del cemento. Cuando se quiere obtener mayor resistencia en los bloques, el contenido de agua debe ser bajo, sólo el suficiente para humedecer toda la mezcla. En general, cuanta más agua se añada a la mezcla, más fácil será trabajarla, pero más débil será el bloque cuando se endurezca.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua – cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento.

Su resistencia depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- ✓ Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- ✓ Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- ✓ Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- ✓ Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

“Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto, a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad de dicho concreto”. (1)

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se puede modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Éstos se usan comúnmente para:

- ✓ Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento
- ✓ Reducir la demanda de agua
- ✓ Aumentar la trabajabilidad
- ✓ Incluir intencionalmente aire, y
- ✓ Ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento.

2.3.2 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de " *plástico* " aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldar.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de grava o piedra triturada quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

(1) www.hormigon.com

El revenimiento (contracción) se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para los trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados.

2.3.2.1 Mezclado

Los 5 componentes básicos del concreto se muestran separadamente para asegurarse que estén combinados en una mezcla homogénea, se requiere de esfuerzo y cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Sin embargo, se puede variar esa secuencia y aún así producir concreto de calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adicionamiento de agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución.

Otros factores importantes en el mezclado son el tamaño de la revoltura en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas. Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correcto, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre sí misma a medida que se mezcla el concreto.

2.3.2.2 Trabajabilidad

“La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado, se denomina trabajabilidad”. (1)

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos: cemento,

(1) www.hormigon.com

piedra triturada y aserrín, dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua - cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final.

El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

2.3.2.3 Consolidación

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. Con una consolidación adecuada de las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El *vibrado mecánico* tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

2.3.3 CONCRETO ENDURECIDO

2.3.3.1 Curado húmedo

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca

favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un período de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

2.3.3.2 Peso unitario

El concreto convencional, empleado normalmente en la elaboración de bloques tiene un peso unitario dentro del rango de 1200 y 2000 (kg/m³). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. *“El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto y de las características de absorción de los agregados”.* (1)

2.4 DISEÑO DE LAS MEZCLAS

Se realizó un diseño experimental de mezcla simplex con centroides y con puntos interiores en el que las variables independientes fueron el cemento, el polvo de pómez, el polvo de piedra y el aserrín, y como variables respuesta la resistencia a

(1) www.hormigon.com

la compresión, resistencia a la absorción de agua, retracción por secado y aislamiento acústico.

Para la mezcla base se tomó en consideración un promedio de las proporciones de los diferentes materiales que utilizan para la mezcla de bloques de concreto en algunas bloqueras de nuestra ciudad, como se ve en la Tabla 2.4.

TABLA 2.2 Mezcla convencional

Cemento	Polvo de piedra	Polvo del norte (pómez)	Aserrín
3	7	8	0

Para la práctica se adicionó a estos materiales el aserrín y se realizaron cuatro pre – mezclas diferentes, donde en cada una de éstas existía un material con su proporción dominante, como se muestra en la Tabla 2.3

TABLA 2.3 Mezclas propuestas

Cemento	Polvo de piedra	Polvo del norte (pómez)	Aserrín
6	5	5	2
2	8	5	3
1	7	9	1
2	5	5	6

Los porcentajes de las mezclas propuestas fueron determinados de la siguiente forma:

En la mezcla convencional (Tabla 2.2), las proporciones de los componentes suman 18 que corresponden al 100% de los materiales y en las mezclas propuestas (Tabla 2.3) se ha adicionado el aserrín como un componente más y de igual manera, la suma de sus proporciones debe ser 18 correspondiente al 100% de los compuestos.

En la primera mezcla (Tabla 2.3), el compuesto dominante es el cemento, se trata de que este material predomine sobre los demás, pero al mismo tiempo sea el porcentaje mínimo posible ya que es el más costoso, por tal razón se han tomado 6 partes (33.3%), superando en 3 partes a la mezcla convencional.

Si se trata de disminuir costos, en la tercera mezcla (Tabla 2.3), el componente dominante es el polvo de pómez y el material más costoso que es el cemento corresponde a la mínima proporción posible que es 1 parte (5.5%).

De igual forma se procedió en la determinación de las proporciones de aserrín, con la diferencia de que no se tomó en cuenta su costo, sino las bajas o nulas propiedades cementantes que tiene dicho compuesto. En la cuarta mezcla (Tabla 2.3), el aserrín corresponde a la mínima proporción posible para un compuesto dominante que es 6 partes (33.3%) ya que por las propiedades anteriormente mencionadas, éste podría reducir la resistencia a compresión y además, la baja resistencia a la humedad, hará que la absorción de agua aumente en los bloques. Por estas mismas razones, en la tercera mezcla (Tabla 2.3), el aserrín ocupa la mínima proporción posible y corresponde a 1 parte (5.5%).

Mientras que, el polvo de piedra y polvo de pómez por no tener costos muy relevantes, sus porcentajes se mantuvieron aproximados a los de la mezcla convencional.

La cantidad de aserrín (nuevo componente), varió entre el 5.5% y el 33.3% de la composición de la mezcla en base seca en reemplazo de parte de los demás materiales.

La cantidad de cemento, polvo de pómez, polvo de piedra y aserrín permanecieron entre ciertos intervalos, que se pueden observar en la Tabla 2.4, mientras que la cantidad de agua permaneció constante para evitar que las propiedades mecánicas del concreto disminuyeran considerablemente y por ende que se hubiera estropeado alguno de los lotes.

TABLA 2.4 Rangos de proporciones de las materias primas

Variable	0%	100%
Cemento	5.5	33.3
Polvo de piedra	27.8	44.4
Polvo de pómez	27.8	50
Aserrín	5.5	33.3

Posteriormente se utilizó el método de simplex – centroide. La matriz de diseño, se expone en la Tabla 2.5; a partir de esta, se tomaron proporciones diferentes de los

cuatro componentes en cada lote experimental, y se elaboraron 15 ensayos con diferentes proporciones de cemento, polvo de piedra, polvo de pómez y aserrín. Cada ensayo se realizó empleando una cantidad de lote de 0.1 m^3 (24 galones), del cual se obtuvieron ocho bloques por cada lote.

El número de puntos o mezclas distintas para el diseño simplex – centroide de q componentes ($q = 4$) toamdo de la ecuación 2.2 es igual a

$$2^q - 1 = 2^4 - 1 = 15 \text{ mezclas}$$

TABLA 2. 5. Diseño de mezcla

Mezcla	(6/5/5/2)	(2/8/5/3)	(1/7/9/1)	(2/5/5/6)
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1/2	1/2	0	0
6	1/2	0	1/2	0
7	1/2	0	0	1/2
8	0	1/2	1/2	0
9	0	1/2	0	1/2
10	0	0	1/2	1/2
11	1/3	1/3	1/3	0
12	1/3	1/3	0	1/3
13	1/3	0	1/3	1/3
14	0	1/3	1/3	1/3
15	1/4	1/4	1/4	1/4

Las proporciones de las mezclas resultantes se pueden ver en la Tabla 2.6.

TABLA 2.6 Mezclas resultantes

Mezcla	Cemento	Polvo piedra	Polvo pómez	Aserrín
1	6	5	5	2
2	2	8	5	3
3	1	7	9	1
4	2	5	5	6
5	4	6,5	5	2,5
6	3,5	6	6,5	1,5
7	4	5	5	4
8	1,5	7,5	6,5	2
9	2	6,5	5	4,5
10	1,5	6	6,5	3,5

11	3	6,67	6	2
12	3,33	6	5	3,67
13	3	5,67	6	3
14	1,67	6,67	6,	3,33
15	2,75	6,25	5,75	3

2.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BLOQUE

Los bloques de conglomerado madera – cemento se fabricaron en una empresa bloquera de la ciudad, en máquinas construidas por su dueño, siguiendo las etapas siguientes: Preparación de la materia prima, dosificación, mezclado, formación y curado.

2.5.1 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para este caso, el único material que tuvo una preparación previa antes de ser trabajado fue el aserrín de la madera, y fue la siguiente.

El aserrín de madera no ácida (eucalipto) completamente seco, fue tamizado en una malla número ocho para separar las impurezas y las astillas grandes que pueden disminuir la resistencia del bloque en caso de contenerlas, ya que la madera en gran tamaño no tiene una buena adherencia con el cemento, posteriormente fue tamizado el aserrín nuevamente en una malla número dos para eliminar el polvo que puede desprenderse del bloque luego de secarse, y además utilizaría más volumen y por ende se necesitaría de mayor cantidad de cemento para que cubra sus superficies.

El aserrín de la madera es deshumificado mediante silicato cálcico para así conseguir la resistencia al moho y evitar la putrefacción y el ataque de insectos o roedores, además la madera al ser deshumificada se vuelve inerte y más resistente al fuego.

2.5.2 DOSIFICACIÓN

La dosificación de los materiales para los bloques de conglomerado madera – cemento se hizo en proporciones conocidas y en cuatro grupos diferentes, determinadas en el diseño experimental de mezclas.



Fig. 2.4 Dosificación de los materiales

2.5.3 MEZCLADO

Con los cuatro grupos de diferentes proporciones, se mezcló primeramente de forma manual hasta que dicha mezcla sea homogénea, posteriormente se mezclaron entre los distintos grupos en diferentes proporciones como se indicará en el diseño experimental de mezclas. Luego en una mezcladora de paletas se adicionaron los materiales sólidos mezclados de forma manual, donde se le añadió el agua también en proporción conocida y en forma constante. Se mezcló por un período variable de 4 – 5 minutos, hasta formar una pasta homogénea.



Fig. 2.5 Mezclado de materiales

2.5.4 FORMACIÓN

La pasta homogénea proveniente del mezclado, se introdujo en una máquina automática de bloques, la cual vibra por un período de un minuto aproximadamente para que las partículas de los materiales se acomoden y luego son apisonados por un pistón para darles mayor compactación, conseguir las dimensiones y forma deseada y eliminar la cantidad de agua que se encuentre demás en los bloques húmedos.



Fig. 2.6 Formación de los bloques

2.5.5 CURADO

El curado se realizó durante tres días al aire libre humedeciendo los bloques tres veces al día para darles la hidratación que necesitan y así obtener la dureza que pueda dar el cemento. Luego se secaron por 25 días más a la sombra hasta que completen los 28 días como exige la Norma INEN para que se puedan realizar los ensayos.



Fig. 2.7 Curado de los bloques

CAPITULO III

NORMAS PARA LOS ENSAYOS

Prácticamente todos los sectores de la industria dependen de los datos de pruebas para dirigir sus actividades. Los fabricantes de materias primas realizan ensayos para mantener el control de los procesos y caracterizar sus productos. Los diseñadores basan su selección de materiales para la obtención de nuevos productos en los resultados de pruebas convencionales. Los fabricantes de máquinas deben tener en cuenta los factores de contracción para construir moldes en los que puedan producir bloques que satisfagan los requisitos dimensionales. Los resultados de las pruebas sirven además para establecer los parámetros de tratamiento. El personal encargado del control de calidad comprueba que los productos se adapten a las exigencias del cliente, generalmente a través de ensayos convencionales. Resulta esencial comprender en profundidad los tipos de pruebas en muchos de los sectores de la construcción.

“Lo que verdaderamente pone a prueba un producto es su comportamiento en las condiciones de operación reales. Las pruebas sirven para valorar el diseño y volver a rehacerlo si es necesario y para determinar su calidad. La palabra prueba implica los métodos y procedimientos empleados para determinar si los bloques satisfacen las propiedades demandadas o específicas. Los procedimientos de control de calidad deben aplicarse para averiguar si un producto se ajusta a las

especificaciones. Se trata primordialmente de una técnica utilizada para conseguir calidad. La inspección garantiza que el personal de fabricación comprueba los procedimientos técnicos, las lecturas del calibre y detecta los defectos en el tratamiento de materiales. La inspección forma parte del control de calidad". (1)

De los ensayos pueden obtenerse resultados muy dispersos debidos tanto a la preparación y aditivado de las materias como a los procesos de transformación. Por ello, son precisos diversos análisis para determinar los parámetros del material.

Las pruebas obligatorias que establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE para los bloques huecos de hormigón son la determinación de la resistencia a la compresión, la determinación de absorción de agua y la determinación de la retracción por secado. Estas pruebas sirven para determinar las propiedades que tienen los bloques.

Propiedades mecánicas: son las que describen el modo en que los bloques responden a la aplicación de una fuerza o carga. Solamente se pueden ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afecten a los materiales: compresión, tensión y cizalla. Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de compresión, tracción y cizalla sirven para medir sólo una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas.

Propiedades físicas: estas dependen de la estructura molecular de los materiales. Por la utilización que se le dará a los productos, es necesario realizar pruebas de inflamabilidad que determinarán la capacidad de los materiales para soportar la combustión.

Existen diversas agencias nacionales e internacionales que establecen y publican especificaciones sobre pruebas y homologación de materiales y producto terminado. En los Estados Unidos, las normas provienen generalmente de el American National Standards Institute (Instituto Norteamericano de Normas), los servicios militares de la nación y la American Society for Testing and Materials (ASTM – Sociedad Norteamericana para Pruebas y Materiales). Una de las principales organizaciones internacionales paralela a ASTM es la International

(1) Richardson & Lokensgard. Industria del Plástico. Op. Cit. Pág. 394.

Organization for Standardization (ISO – Organización Internacional de Normalización) y en el Ecuador la Norma INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización).

3.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

“Todos los sólidos, en una u otra medida, tienen las propiedades y rigidez, o sea que, dentro de ciertos límites son capaces, sin romperse y sufrir grandes variaciones en sus dimensiones geométricas, de resistir cargas”. (1)

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un muestra de bloque a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) ó (MPa) a una edad de 28 días.

La resistencia de los bloques a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de edificios y otras estructuras.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión.

3.1.1 MÉTODO

El método indicado en la Norma INEN 640 consiste en someter los bloques huecos de hormigón a una carga progresiva de compresión, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

3.1.2 EQUIPO

Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba.

3.1.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- ✓ Para determinar la resistencia a la compresión deben usarse bloques enteros seleccionados de acuerdo con la Norma INEN 639.

(1) Feodosiev, V. I. Resistencia de materiales. Pág. 11. Op. Cit.



- ✓ Cada bloque debe ser sumergido en agua a la temperatura ambiente, por un período de 24 horas y luego recubierto de capas de mortero de cemento-arena o de azufre-arena, como se indica en 3.1.3.1.

✓

3.1.3.1 Preparación y colocación de las capas de mortero de cemento - arena sobre los bloques. Para recubrir los bloques de capas de mortero se someterán al siguiente tratamiento de preparación:

- a) Recubrir las caras de la muestra que van a estar en contacto con la máquina con una capa compuesta de mortero de cemento-arena en partes iguales y con un espesor no mayor de 6 mm, para conseguir el paralelismo y la regularidad de estas caras.
- b) Comprobar el paralelismo de las dos caras recubiertas de mortero de cemento por medio de un nivel de burbuja;
- c) Una vez aplicadas las capas de mortero, cubrir el bloque con un paño húmedo y mantenerlo cubierto por 24 horas.
- d) Transcurridas las 24 horas, sumergir cada bloque en agua y mantenerlo sumergido por el tiempo de tres días.

La aplicación de la capa de mortero cemento – arena debe hacerse como se indica a continuación:

- ✓ Emplear como tablero de trabajo una placa de acero de espesor no menor de 10 mm, con la cara superior pulida y nivelada en dos direcciones en ángulo recto, mediante un nivel de burbuja.
- ✓ Colocar sobre esta placa una capa de mortero de cemento – arena, en partes iguales, y con una relación agua – cemento de no más de 0,35.
- ✓ Colocar la cara de contacto del bloque sobre la capa de mortero y presionarla suavemente hasta que ésta se adhiera al bloque en un espesor máximo de 6 mm.
- ✓ Repetir la operación con la cara opuesta, comprobando en ambos casos el paralelismo de las caras de contacto mediante el nivel de burbuja.
- ✓ Retirar el mortero sobrante de las aristas del bloque, dejando a éste con una forma regular.

En caso de usar el mortero de azufre-arena deben aplicarse las disposiciones del punto siguiente:

3.1.3.2 Preparación y colocación de las capas de mortero de azufre - arena sobre los bloques.

- ✓ En caso de emplearse el mortero de azufre – arena, éste deberá contener azufre en una proporción del 40% al 60%, con arcilla u otro material inerte, que pase el tamiz INEN de 149 μ m.
- ✓ Sobre la placa metálica indicada en el punto anterior, previamente impregnada de aceite, colocar cuatro barras de acero de sección transversal cuadrada de 25 mm de lado, para formar un molde rectangular, aproximadamente 12 mm mayor que las dimensiones de las aristas de la muestra.
- ✓ Calentar el mortero de azufre – arena en un recipiente colocado termostáticamente, hasta una temperatura suficiente para mantener su fluidez por un tiempo razonable, después del contacto con la placa. Debe evitarse el sobrecalentamiento y agitarse el líquido inmediatamente antes de usarlo.
- ✓ Llenar el molde con la mezcla retenida, colocar rápidamente la cara del bloque que se desea cubrir, y acomodarla de tal manera que sus caras exteriores formen ángulos rectos con la superficie cubierta. Repetir la operación para la cara opuesta.
- ✓ El espesor de las dos capas deberá ser aproximadamente el mismo y no deberá pasar de 3 mm. El bloque así preparado deberá ensayarse después de dos horas del alisado de sus caras.

3.1.4 PROCEDIMIENTO

- ✓ Las muestras se ensayan, centrándolas respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la misma dirección en que se vaya a aplicar en los bloques puestos en obra.
- ✓ La carga se aplicará gradualmente en un tiempo no menor de un minuto ni mayor de dos, a una velocidad constante.

3.1.5 CÁLCULO

La resistencia a la compresión se calcula por la ecuación siguiente:

$$C = \frac{P}{S}$$

En donde:

C – la resistencia a la compresión, en [MPa]

P – la carga de rotura en Newtones [N]

S – superficie bruta de la cara comprimida, en milímetros cuadrados [mm²].

3.1.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez ensayados todos los bloques de la muestra, se compararán los resultados con los requerimientos y se aceptará o rechazará cada lote.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA

3.2.1 MÉTODO

Según la Norma INEN 642, el método para la determinación de la absorción de agua en los bloques huecos de hormigón consiste en someter los bloques a la inmersión en agua hasta su saturación y luego al secado, para registrar las variaciones en masa de los mismos durante este proceso.

3.2.2 MUESTRAS DE ENSAYO

Deben usarse bloques enteros tomados al azar de las muestras seleccionadas de acuerdo con la Norma INEN 639.

3.2.3 EQUIPOS

La balanza usada debe ser sensible al 0,5% de la masa del más pequeño de las muestras sometidas a ensayo.

3.2.4 PROCEDIMIENTO

Saturación. Las muestras de ensayo deben ser completamente sumergidos en agua a la temperatura ambiente durante 24 horas.

Las muestras deben retirarse del agua y dejarse secar durante un minuto, colocándolos sobre una malla de alambre de 10 mm de abertura, eliminando el agua superficial con un paño húmedo.



Una vez anotada la masa de las muestras, estos deben secarse en un horno de secado a una temperatura entre 100°C y 115°C, durante no menos de 24 horas, y luego pesarse de nuevo.

Hasta en dos pesadas sucesivas, en intervalos de dos horas, el incremento de la pérdida no debe ser mayor del 0,2% de la última masa previamente determinada de la muestra.

3.2.5 CÁLCULO

Calcular la absorción de agua mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción \%} = \left(\frac{A - B}{B} \right) \times 100$$

En donde:

A – masa en húmedo de la muestra, en kg;

B – masa en seco de la muestra, en kg.

3.2.6 INFORME DE RESULTADOS

Se deben registrar los resultados del ensayo de cada muestra por separado.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA RETRACCIÓN POR SECADO

La Norma INEN 641 define a la retracción por secado como “*la diferencia entre la longitud de un bloque de hormigón que ha sido saturado de agua, y la longitud del mismo bloque después de secado a longitud constante. Se expresa como un porcentaje de la longitud en seco*”. (1)

3.3.1 MÉTODO

El método indicado en la Norma INEN 641 consiste en la medición de la longitud de un bloque hueco de hormigón que ha sido saturado de agua, una segunda

(1) Norma Técnica Ecuatoriana INEN 641. Bloques huecos de hormigón, determinación de la retracción por secado. Op. Cit. Pág. 1

medición del mismo bloque después de secado y la repetición sucesiva de este proceso para determinar el máximo valor de retracción.

3.3.2 APARATOS

Horno de secado. Un horno de secado de tiro forzado de un volumen total de $0,06 \text{ m}^3$ mantenido a una temperatura interior de $50 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa aproximada de 17%.

NOTA. La humedad relativa puede mantenerse mediante la inclusión de recipientes con solución saturada de cloruro de calcio. Estos recipientes deben proveer un área total expuesta de por lo menos 1 m^2 por cada metro cúbico del volumen del horno y deben contener suficiente cloruro de calcio sólido para mantenerse sobre la superficie de la solución durante todo el ensayo.

Micrómetro. Un micrómetro apropiado capaz de medir con una precisión de $0,002 \text{ mm}$.

Desecador. Un desecador suficientemente grande como para acomodar las muestras de ensayo y que contenga un recipiente con solución saturada de cloruro de calcio.

3.3.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- ✓ Seleccionar seis bloques escogidos de acuerdo con la Norma INEN 639.
- ✓ De cada uno de los bloques de ensayo, cortar un muestra de aproximadamente 150 mm de largo y de $75 \times 75 \text{ mm}$ de sección transversal.
- ✓ Usando un compuesto de resina epoxídica, fijar una bola de acero de 6 mm de diámetro en el centro de las caras opuestas extremas de cada muestra, de tal modo que sobresalga la mitad de cada bola. Después de endurecida la resina, limpiar la superficie expuesta de las bolas y engrasarlas para evitar la corrosión. Usar los extremos de las bolas como puntos de referencia.

3.3.4 PROCEDIMIENTO



Sumergir completamente las muestras en agua limpia, a una temperatura de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante cuatro días.

Retirar las muestras del agua, quitar la grasa de las bolas de acero y medir la longitud entre los puntos de referencia.

Después de tomadas las medidas, secar las muestras en el horno por lo menos durante 48 horas. No se deben colocar las muestras húmedos junto a los parcialmente secos.

Enfriar las muestras durante cuatro horas como mínimo y volver a medir la longitud.

Repetir este proceso de secado y enfriamiento (pero empleando períodos de secado de 24 horas) hasta que la diferencia entre dos medidas consecutivas sea menor de 0,05 mm. Registrar la lectura final como longitud en seco.

3.3.5 CÁLCULO

Calcular la retracción por secado de cada muestra como la diferencia entre la longitud en húmedo y la longitud en seco, expresada como un porcentaje de la longitud en seco.

3.3.6 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Los resultados deben ser expresados como el valor promedio de retracción por secado en las seis muestras sometidas al ensayo, y se considera como representativo de todo el lote de donde se han extraído las muestras.

3.4 ENSAYOS NO OBLIGATORIOS

La Norma Técnica Ecuatoriana (INEN) establece como obligatorios los ensayos anteriormente descritos para la fabricación de bloques huecos de hormigón, sin embargo, al tener los bloques en estudio un compuesto nuevo, el cual está demostrado que cumple con otras funciones como el aislamiento acústico y térmico, se puede comprobar el grado de aislamiento que adiciona a los bloques.

Además, la madera al ser un material combustible, requiere de ensayos para determinar su resistencia al fuego. La Norma ISO 834 establece que los bloques sometidos a una temperatura de 1200°C, deben resistir al menos seis horas antes de carbonizarse.

3.5 EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

Los ensayos se realizaron siguiendo los pasos anteriormente descritos en las diferentes normas.

3.5.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Preparación de las muestras

Se seleccionaron bloques enteros de todas las mezclas.

Los bloques fueron sumergidos en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas.

Luego fueron recubiertos de capas de mortero de cemento – arena como se indica en el punto 3.1.3.3.

Una vez aplicadas las capas de mortero, los bloques fueron cubiertos con un paño húmedo por 24 horas.

Transcurridas las 24 horas, se sumergió los bloques en agua por tres días.

Procedimiento:

Los ensayos de las muestras fueron realizados en la máquina para pruebas de materiales Metro Com Engineering S. p. A. de la Universidad Politécnica Salesiana. Para esto se centraron dichas muestras en la rótula de manera que la carga estaba aplicada en la misma dirección en que se aplicará en los bloques puestos en obra. La carga se aplicó gradualmente y a una velocidad constante.

Los cálculos de resistencia a la compresión se realizan mediante la ecuación siguiente:

$$C = \frac{P}{S}$$

En donde:

C – la resistencia a la compresión, en [MPa]

P – la carga de rotura en Newtones [N]

S – superficie bruta de la cara comprimida, en milímetros cuadrados.

Y los resultados se presentan en la tabla 3.1.

TABLA 3.1 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión

Nº Muestra	Resistencia compresión (MPa)
1	7,3
2	2,9
3	2,7
4	1,4
5	4,4
6	2,6
7	4,2
8	3,3
9	2,5
10	2,1
11	4,2
12	3,4
13	4,4
14	3,4
15	3,7

Además se realizaron ensayos a bloques de concreto comprados a dos fábricas diferentes de la ciudad, y sus resistencias a la compresión son las siguientes:

Nº Muestra	Resistencia compresión MPa
16	1,0
17	1.4

estos resultados se muestran en los anexos 1P y 1Q.



Fig. 3.1 (a) Saturado de los bloques, (b – f) pruebas de compresión

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA

Las muestras enteras se saturaron sumergiéndoles completamente en agua a temperatura ambiente durante 24 horas.

Posteriormente fueron retirados del agua y pesados en una balanza electrónica.

Luego se secaron en un horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas y por último, pesados nuevamente.

El cálculo de la absorción de agua se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción \%} = \left(\frac{A - B}{B} \right) \times 100$$

En donde:

A = masa en húmedo de la muestra, en kg;

B = masa en seco de la muestra, en kg.

Y los resultados obtenidos se exponen en la tabla 3.2.

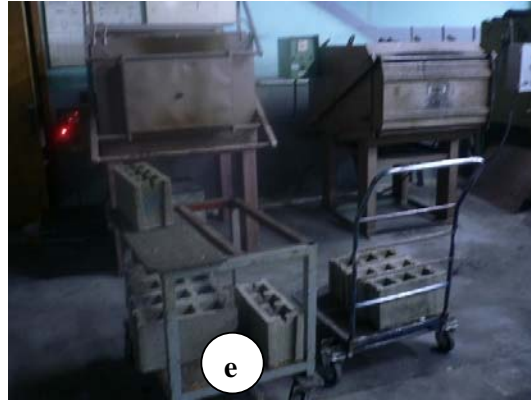
TABLA 3.2 Resultados de los ensayos de absorción de agua

Nº muestra	Bloque Saturado A (kg)	Bloque Seco B (kg)	absorción (%)
1	14,85	13,55	9,59
2	14,65	13,21	10,90
3	14,58	12,79	13,99
4	12,72	10,81	17,66
5	14,91	13,05	14,25
6	13,71	11,92	15,01
7	13,9	11,84	17,39
8	14,37	12,29	16,92
9	13,41	11,58	15,80
10	13,26	11,15	18,92
11	13,8	12,28	12,37
12	13,65	11,65	17,16
13	13,83	11,81	17,10
14	13,77	11,88	15,90
15	13,68	12,07	13,33

En los bloques comprados, también se realizó los ensayos de absorción de agua, obteniendo los siguientes resultados:

Nº muestra	Bloque Saturado A (kg)	Bloque Seco B (kg)	absorción (%)
16	13,27	11,65	13,9
17	10,87	9,58	13,46





f



Fig. 3.2 (a - c) Saturado de los bloques,
(d) pesado de los bloques, (e) secado de los bloques

3.5.3 DETERMINACIÓN DE LA RETRACCIÓN POR SECADO

Preparación de las muestras

Se seleccionaron bloques de cada mezcla y se cortaron muestras de aproximadamente 200 mm de largo y de 75 x 25 mm que es el espesor.

Usando un compuesto de resina epoxídica, se fijó una bola de acero de 6 mm de diámetro en el centro de las caras opuestas extremas de cada muestra, de tal modo que sobresalga la mitad de cada bola, las cuales son usadas como puntos de referencia.

Procedimiento

Se sumergieron completamente las muestras en agua limpia, a una temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ durante cuatro días.

Posteriormente se retiraron las muestras del agua y se midió la longitud entre los puntos de referencia.

Después de tomadas las medidas, se secó las muestras en el horno durante 48 horas.

Luego de enfriar las muestras durante ocho horas se volvió a medir la longitud.

El porcentaje de retracción por secado se calculó como la diferencia entre la longitud en húmedo y la longitud en seco.

La tabla 3.3 muestra los resultados obtenidos.

TABLA 3.3 Resultados de los ensayos de retracción por secado

Nº muestra	Longitud bloque saturado (mm)	Longitud bloque seco (mm)	Retracción (%)
1	215,19	214,91	0,13
2	214,48	214,25	0,10
3	215,95	215,69	0,12
4	216,1	215,85	0,11
5	217,45	217,09	0,16
6	212,66	212,4	0,12
7	210,34	210,05	0,13
8	211,12	210,89	0,10
9	209,95	209,7	0,11
10	208,99	208,69	0,14
11	214	213,71	0,13
12	210,52	210,21	0,14
13	216,27	215,96	0,14
14	217,09	216,79	0,13
15	212,44	212,1	0,16





Fig. 3.3 (a) Preparación, (b) saturado, (c, d) medición y (e, f) secado de las muestras.

Para una comparación con los bloques comprados, se realizaron ensayos de retracción por secado y los resultados son los siguientes:

Nº muestra	Longitud bloque saturado (mm)	Longitud bloque seco (mm)	Retracción (%)
16	214.28	214.02	0.12
17	213,05	212,82	0,10

3.5.4 DETERMINACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO

Para este ensayo se prepararon cajas con los diferentes grupos de bloques. Se realizó ruido fuera de dichas cajas donde el sonómetro marcó 111.6 dB.

Para las mediciones del nivel de ruido dentro de las diferentes cajas, los resultados se muestran en la tabla 3.4.

TABLA 3.4 Resultados del ensayo de absorción de ruido

Nº muestra	Ruido (dB)	Cantidad de Aserrín (de 18 partes)
1	88,5	2
2	86,3	3
3	89,4	1
4	78,9	6
5	86,2	2,5
6	89,7	1,5
7	82,9	4
8	87,8	2
9	81,1	4,5
10	83,7	3,5
11	88,6	2
12	83,5	3,66
13	86,5	3
14	84,1	3,33
15	85,3	3

Además se preparó una caja con los bloques comprados y el registro en el sonómetro dentro de la caja fue de 93.4 dB para las muestras N° 16 y 90.1 dB para las muestras N° 17.





Fig. 3.4 construcción de cajas y medición del nivel de ruido

Además, con los resultados de la tabla 3.2 (peso de bloques secos), se determina que los bloques contruidos de conglomerado madera – cemento, se encuentran dentro de la clasificación de bloques livianos (hasta 1200 kg/m^3), (ver pág. 3).

TABLA 3.5 Peso de bloques por metro cúbico

Nº muestra	peso c/bloque (kg)	peso $\text{kg} \times \text{m}^3$
1	13,55	1129,1215



2	13,21	1100,7893
3	12,79	1065,7907
4	10,81	900,7973
5	13,05	1087,4565
6	11,92	993,2936
7	11,84	986,6272
8	12,29	1024,1257
9	11,58	964,9614
10	11,15	929,1295
11	12,28	1023,2924
12	11,65	970,7945
13	11,81	984,1273
14	11,88	989,9604
15	12,07	1005,7931

CAPITULO IV

ANALISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis del diseño experimental se tomará en cuenta que los bloques fueron contruidos con madera no tratada y por lo tanto dichos bloques serán usados para paredes divisorias exteriores con revestimiento, paredes divisorias interiores con o sin revestimiento y para losas alivianadas de hormigón armado, es decir que los bloques serán de los tipos D y E, los cuales; según la Norma INEN

640 deben tener una resistencia mínima a la compresión de 2.5 MPa (ver tablas 1.1 y 1.3).

4.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

En la tabla 4.1 se muestran los diseños de mezclas y el resultado de los ensayos de compresión realizados a los diferentes bloques que serán utilizados para el análisis de los mismos:

Tabla 4.1 Matriz para la determinación de la ecuación polinómica del modelo de Resistencia a la Compresión

	Proporciones				Resistencia Compresión η
	x1 (cimento)	x2 (piedra)	x3 (pómez)	x4 (aserrín)	
η_i	1	0	0	0	7,3
η_j	0	1	0	0	2,9
η_k	0	0	1	0	2,7
η_l	0	0	0	1	1,4
η_{ij}	0,5	0,5	0	0	4,4
η_{ik}	0,5	0	0,5	0	2,6
η_{il}	0,5	0	0	0,5	4,2
η_{jk}	0	0,5	0,5	0	3,3
η_{jl}	0	0,5	0	0,5	2,5
η_{kl}	0	0	0,5	0,5	2,1
η_{ijk}	0,3334	0,3334	0,3334	0	4,2
η_{ijl}	0,3334	0,3334	0	0,3334	3,4
η_{ikl}	0,3334	0	0,3334	0,3334	4,4
η_{jkl}	0	0,3334	0,3334	0,3334	3,4
η_{ijkl}	0,25	0,25	0,25	0,25	3,7

Sustituyendo las ecuaciones 2.3 en la ecuación 2.2, para una mezcla de cuatro componentes se obtiene la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \eta = & (\eta_i x_i + \eta_j x_j + \eta_k x_k + \eta_l x_l) \\
 & + \{2[2^1 \eta_{ij} - 1^1(\eta_i + \eta_j)]x_i x_j + 2[2^1 \eta_{ik} - 1^1(\eta_i + \eta_k)]x_i x_k \\
 & + 2[2^1 \eta_{il} - 1^1(\eta_i + \eta_l)]x_i x_l + 2[2^1 \eta_{jk} - 1^1(\eta_j + \eta_k)]x_j x_k \\
 & + 2[2^1 \eta_{jl} - 1^1(\eta_j + \eta_l)]x_j x_l + 2[2^1 \eta_{kl} - 1^1(\eta_k + \eta_l)]x_k x_l\} \\
 & + \{3[3^2 \eta_{ijk} - 2^2(\eta_{ij} + \eta_{ik} + \eta_{jk}) + 1^2(\eta_i + \eta_j + \eta_k)]x_i x_j x_k \\
 & + 3[3^2 \eta_{ijl} - 2^2(\eta_{ij} + \eta_{il} + \eta_{jl}) + 1^2(\eta_i + \eta_j + \eta_l)]x_i x_j x_l \\
 & + 3[3^2 \eta_{ikl} - 2^2(\eta_{ik} + \eta_{il} + \eta_{kl}) + 1^2(\eta_i + \eta_k + \eta_l)]x_i x_k x_l \\
 & + 3[3^2 \eta_{jkl} - 2^2(\eta_{jk} + \eta_{jl} + \eta_{kl}) + 1^2(\eta_j + \eta_k + \eta_l)]x_j x_k x_l\} \\
 & + \{4[4^3 \eta_{ijkl} - 3^3(\eta_{ijk} + \eta_{ijl} + \eta_{ikl} + \eta_{jkl}) \\
 & + 2^3(\eta_{ij} + \eta_{ik} + \eta_{il} + \eta_{jk} + \eta_{jl} + \eta_{kl}) - 1^3(\eta_i + \eta_j + \eta_k + \eta_l)]x_i x_j x_k x_l\}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Sustituyendo los valores de resistencia a la compresión de la tabla 4.1 en la ecuación 4.1 se obtienen los datos de respuesta ajustados a un polinomio que tiene el mismo número de términos (15) como el número de mezclas de los cuatro componentes, resultando la siguiente ecuación polinómica de cuarto orden para el modelo de compresión:

$$\begin{aligned}
 y(x) = & 7.3x_1 + 2.9x_2 + 2.7x_3 + 1.4x_4 - 2.8x_1x_2 - 9.6x_1x_3 - 0.6x_1x_4 + 2x_2x_3 \\
 & + 1.4x_2x_4 + 0.2x_3x_4 + 28.5x_1x_2x_3 - 6.6x_1x_2x_4 \\
 & + 18x_1x_3x_4 + 46.2x_2x_3x_4 - 371.6x_1x_2x_3x_4
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Los cuatro primeros valores de esta ecuación polinómica representan las respuestas esperadas de las premezclas iniciales y se les llama valores de la componente lineal, los seis valores siguientes son coeficientes de mezclas entre dos premezclas, los siguientes cuatro valores son coeficientes resultantes entre tres premezclas y el último valor es el coeficiente que resulta de la mezcla de las cuatro premezclas iniciales, todas en iguales proporciones.

En la ecuación, los términos b_{123} , b_{134} y b_{234} nos producen las mayores resistencias a la compresión, además son positivos y nos indican que dicha resistencia a la compresión es mayor de lo que se espera si se promediaran entre sus premezclas. Este es un caso de “sinergia” mezcla de efectos. Otras componentes como b_{13} y b_{124} tienen efectos antagónicos porque sus mezclas son negativas.

Los coeficientes obtenidos se presentan en la tabla 4.2.

TABLA 4.2 Coeficientes de la ecuación polinómica de Resistencia a la Compresión

b1	7,3	b12	-2,8	b123	28,5
b2	2,9	b13	-9,6	b124	-6,6
b3	2,7	b14	-0,6	b134	46,2
b4	1,4	b23	2	b234	18
		b24	1,4		
		b34	0,2		

Representar gráficamente esta ecuación en tres dimensiones no es nada fácil, por lo que para una mejor interpretación se realizarán cortes a lo largo del tetraedro formado por los cuatro componentes. Para este caso, los cortes se los realizará a lo largo del eje de la premezcla con aserrín como dominante y a cada 10%.

Como ejemplo se realizará el corte del tetraedro al 70% de la premezcla donde el material dominante es el aserrín (x4), para esto, la columna x4 se mantiene constante y el valor es su porcentaje (0.7) como se puede observar en la tabla 4.3. Cada fila debe sumar uno (1), que corresponde al 100% de la suma de los porcentajes de las mezclas.

TABLA 4.3 Mezclas para el corte a 70% (premezcla aserrín dominante)

x1(cemento)	x2(piedra)	x3(pómez)	x4(aserrín)
0,3	0	0	0,7
0	0,3	0	0,7
0	0	0,3	0,7
0,15	0,15	0	0,7
0,15	0	0,15	0,7
0	0,15	0,15	0,7
0,1	0,1	0,1	0,7

La compresión calculada al 70% de la premezcla de aserrín como dominante resulta de la suma de los productos de los coeficientes que se muestran en la tabla 4.2 y las mezclas de la tabla 4.3 como se ve a continuación:

$$R.Comp.Calculada=(b1*x1+b2*x2+b3*x3+b4*x4)+(b12*x1*x2+b13*x1*x3+b14*x1*x4+b23*x2*x3+b24*x2*x4+b34*x3*x4)+(b123*x1*x2*x3+b124*x1*x2*x4+b134*x1*x3*x4+b234*x2*x3*x4)$$

$$\begin{aligned} R.\text{Comp. Calculada} = & (7,3*0,3+2,9*0+2,7*0+1,4*0,7)+(-2,8*0,3*0-9,6*0,1*0- \\ & 0,6*0,3*0,7+2*0*0+1,4*0*0,7+0,2*0*0,7)+(28,5*0,3*0*0- \\ & 6,6*0,3*0*0,7+46,2*0,3*0*0,7+18*0*0*0,7) \end{aligned}$$

Al coeficiente b1234 no se le ha tomado en consideración ya que es un valor negativo y demasiado grande que en el cálculo de la resistencia a la compresión resulta despreciable, y la resistencia a la compresión para la primera mezcla es:

$$R.\text{Comp. Calculada} = 3,044$$

Para calcular la resistencia a la compresión de las otras mezclas se procede de la misma manera, y los resultados se muestran en la tabla 4.4.

TABLA 4.4 Resistencia a la compresión calculada (Corte 0.7 aserrín)

x1	x2	x3	x4	R. Compresión calculada (0.7)
0,3	0	0	0,7	3,044
0	0,3	0	0,7	2,144
0	0	0,3	0,7	1,832
0,15	0,15	0	0,7	2,427
0,15	0	0,15	0,7	2,949
0	0,15	0,15	0,7	2,316
0,1	0,1	0,1	0,7	2,667

Todos estos valores son introducidos en el software “Statistica”, donde se utilizó el modelo de polinomio cúbico especial y se obtuvo una ecuación polinómica de tercer orden para la resistencia a la compresión y su gráfico se muestra en la Fig. 4.1.

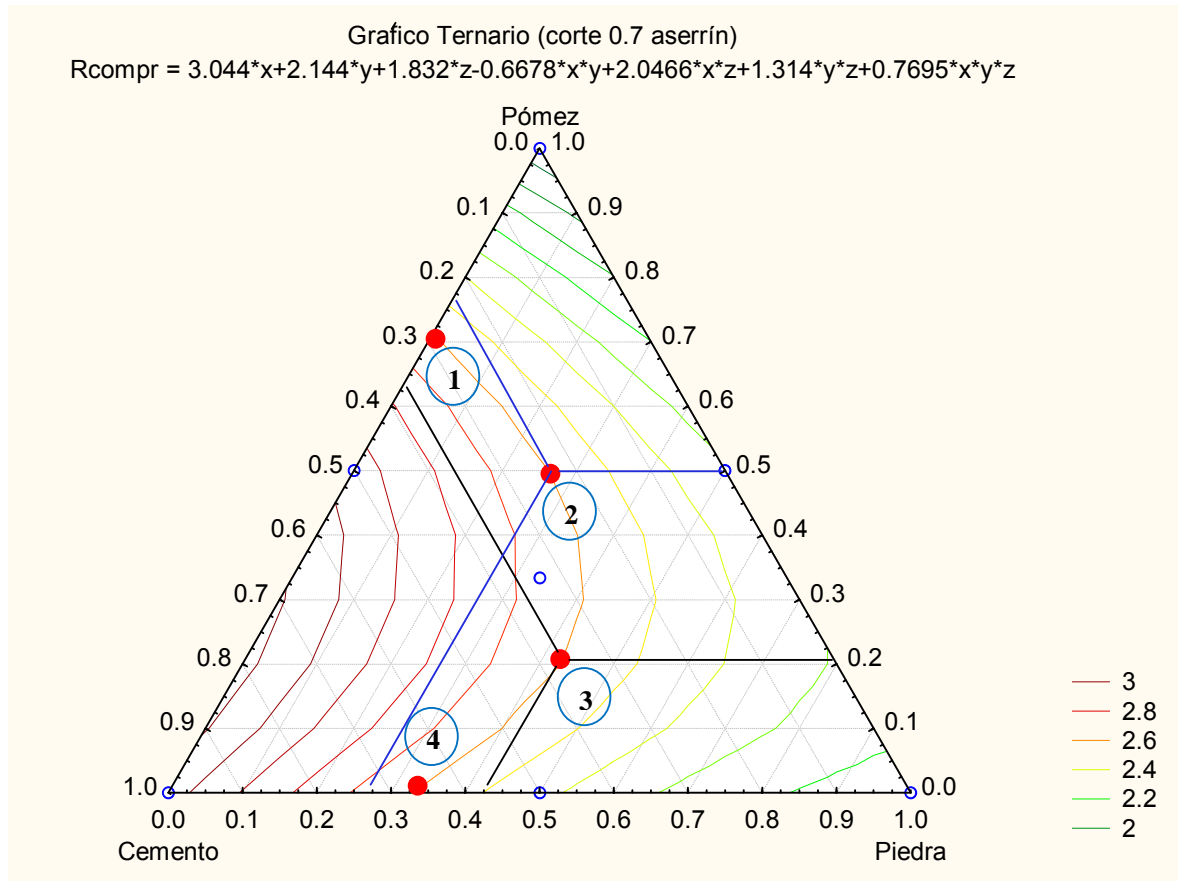


Fig. 4.1 Gráfico ternario (corte 0.7 aserrín)

Los puntos en azul indican la resistencia a la compresión calculada que se encuentran en la Tabla 4.4 y corresponden a cada una de sus mezclas.

Junto al gráfico se encuentra una escala de colores con su respectivo valor de resistencia a la compresión. Dicha resistencia se encuentra en diferentes proporciones de materiales a lo largo de una curva. Para interpretar esta gráfica, pondremos como ejemplo determinar una resistencia a la compresión de 2.6 MPa en cuatro puntos diferentes de una misma curva, para este caso es la de color naranja.

Una vez establecidos los puntos donde queremos analizar, trazamos desde estos, líneas paralelas hacia las caras del triángulo, dirigiéndonos siempre al menor valor, la suma de estos tres cortes deben ser siempre uno (1) que equivale al 100% de la mezcla.

En este caso, el punto (1) se encuentra sobre una arista del triángulo y su composición es igual al 70% de cemento y 30% de pómez.

El punto (2) equivale al 27% de cemento, 23% de pómez y 50% de piedra.

Para el punto (3) la composición es del 42% de cemento, 38% de pómez y 20% de piedra.

Al igual que el punto (1), el punto (4), también se encuentra sobre una arista del triángulo y corresponde al 33% de cemento y 67% de piedra.

Para este ejemplo hay que tomar en cuenta que el gráfico corresponde a un corte del 70% de aserrín como dominante, y por lo tanto, las composiciones anteriores equivalen a un 30% del total. En la Tabla 4.5 se muestran los valores reales en porcentajes:

TABLA 4.5 Porcentajes de los materiales en un corte de 70% de aserrín

Punto	% Cemento	% Piedra	% Pómez	% Aserrín
1	21	0	9	70
2	8.1	15	6.9	70
3	12.6	6	11.4	70
4	9.9	20.1	0	70

NOTA: todas estas composiciones corresponden a premezclas, donde el componente dominante es el material indicado.

De la tabla 2.5 (mezclas propuestas), tomamos las proporciones y calculamos el equivalente de las composiciones de la Tabla 4.5.

En la Tabla 4.6, las proporciones dentro del paréntesis corresponden a: (cemento / piedra / pómez / aserrín) respectivamente.

TABLA 4.6 Composición en el punto (1)

		Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín
21(6/5/5/2)	=	7	5.83	5.83	2.34
9(1/7/9/1)	=	0.5	3.5	4.5	0.5
70(2/5/5/6)	=	7.78	19.44	19.44	23.33
TOTAL	=	15.28	28.77	29.77	26.17
					100%

TABLA 4.7 Composición en el punto (2)

	Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín
--	---------	--------	-------	---------

8.1(6/5/5/2)	=	2.7	2.25	2.25	0.9	
15(2/8/5/3)	=	1.67	6.67	4.16	2.5	
6.9(1/7/9/1)	=	0.38	2.68	3.45	0.38	
70(2/5/5/6)	=	7.78	19.44	19.44	23.33	
TOTAL	=	12.53	31.04	29.3	27.11	100%

TABLA 4.8 Composición en el punto (3)

		Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín	
12.6(6/5/5/2)	=	4.2	3.5	3.5	1.4	
6(2/8/5/3)	=	0.67	2.66	1.67	1	
11.4(1/7/9/1)	=	0.63	4.43	5.7	0.63	
70(2/5/5/6)	=	7.78	19.44	19.44	23.33	
TOTAL	=	13.28	30.03	30.31	26.36	100%

TABLA 4.9 Composición en el punto (4)

		Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín	
9.9(6/5/5/2)	=	3.3	2.75	2.75	1.1	
20.1(2/8/5/3)	=	2.23	8.93	5.58	3.35	
70(2/5/5/6)	=	7.78	19.44	19.44	23.33	
TOTAL	=	13.31	31.12	27.78	27.78	100%

Como se puede ver en las Tablas 4.6 a 4.9, una sola curva puede aportar con diversas proporciones para obtener una misma resistencia a la compresión. Si se tratase de cumplir sólo con este requerimiento, lo ideal sería escoger la mezcla que nos proporcione el menor costo, más adelante se verá como analizar todos los requerimientos.

El mismo procedimiento se sigue para analizar todos los requisitos de los bloques en cualquier corte del tetraedro.

4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las Tablas 4.10 a 4.19 representan las proporciones y resistencias a la compresión calculadas cada 10% del eje de la mezcla con aserrín como componente dominante que se utilizaron para obtener las gráficas ternarias.

TABLA 4.10 R. Compresión con 90% de aserrín

TABLA 4.11 R.

Compresión con 80% de aserrín

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.9)
0,1	0	0	0,9	1,936
0	0,1	0	0,9	1,676
0	0	0,1	0,9	1,548
0,05	0,05	0	0,9	1,784
0,05	0	0,05	0,9	1,821
0	0,05	0,05	0,9	1,657
0,033	0,033	0,033	0,9	1,761

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.8)
0,2	0	0	0,8	2,484
0	0,2	0	0,8	1,924
0	0	0,2	0,8	1,692
0,1	0,1	0	0,8	2,123
0,1	0	0,1	0,8	2,361
0	0,1	0,1	0,8	1,972
0,066	0,066	0,066	0,8	2,2

TABLA 4.12 R. Compresión con 70% de aserrín

TABLA 4.13 R.

Compresión con 60% de aserrín

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.7)
0,3	0	0	0,7	3,044
0	0,3	0	0,7	2,144
0	0	0,3	0,7	1,832
0,15	0,15	0	0,7	2,427
0,15	0	0,15	0,7	2,949
0	0,15	0,15	0,7	2,316
0,1	0,1	0,1	0,7	2,667

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.6)
0,4	0	0	0,6	3,616
0	0,4	0	0,6	2,336
0	0	0,4	0,6	1,968
0,2	0,2	0	0,6	2,705
0,2	0	0,2	0,6	3,516
0	0,2	0,2	0,6	2,664
0,133	0,133	0,133	0,6	3,137

TABLA 4.14 R. Compresión con 50% de aserrín

TABLA 4.15 R.

Compresión con 40% de aserrín

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.5)
0,5	0	0	0,5	4,2
0	0,5	0	0,5	2,5
0	0	0,5	0,5	2,1
0,25	0,25	0	0,5	2,968
0,25	0	0,25	0,5	3,993
0	0,25	0,25	0,5	2,987
0,166	0,166	0,166	0,5	3,576

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.4)
0,6	0	0	0,4	4,796
0	0,6	0	0,4	2,636
0	0	0,6	0,4	2,228
0,3	0,3	0	0,4	3,226
0,3	0	0,3	0,4	4,311
0	0,3	0,3	0,4	3,26
0,2	0,2	0,2	0,4	3,953

TABLA 4.16 R. Compresión con 30% de aserrín **TABLA 4.17 R. Compresión con 20% de aserrín**

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.3)	x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.2)
0,7	0	0	0,3	5,404	0,8	0	0	0,2	6,024
0	0,7	0	0,3	2,744	0	0,8	0	0,2	2,824
0	0	0,7	0,3	2,352	0	0	0,8	0,2	2,472
0,35	0,35	0	0,3	3,488	0,4	0,4	0	0,2	3,764
0,35	0	0,35	0,3	4,399	0,4	0	0,4	0,2	4,190
0	0,35	0,35	0,3	3,454	0	0,4	0,4	0,2	3,544
0,233	0,233	0,233	0,3	4,236	0,266	0,266	0,266	0,2	4,393

TABLA 4.18 R. Compresión con 10% de aserrín **TABLA 4.19 R. Compresión con 0% de aserrín**

x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0.1)	x1	x2	x3	x4	compresión calculada (0)
0,9	0	0	0,1	6,656	1	0	0	0	7,3
0	0,9	0	0,1	2,876	0	1	0	0	2,9
0	0	0,9	0,1	2,588	0	0	1	0	2,7
0,45	0,45	0	0,1	4,065	0,5	0,5	0	0	4,4
0,45	0	0,45	0,1	3,613	0,5	0	0,5	0	2,6
0	0,45	0,45	0,1	3,501	0	0,5	0,5	0	3,3
0,3	0,3	0,3	0,1	4,391	0,333	0,333	0,333	0	4,194

Los gráficos correspondientes se muestran en las Figs. 4.2 a 4.11

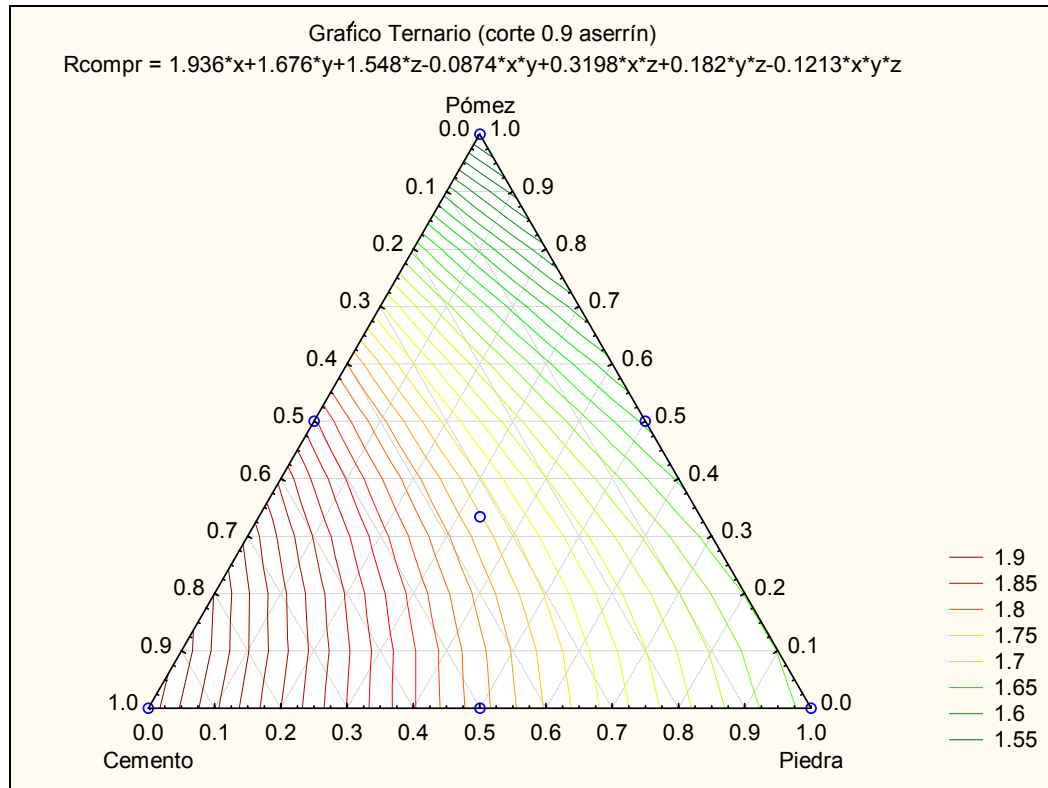


Fig. 4.2 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 90% aserrín)

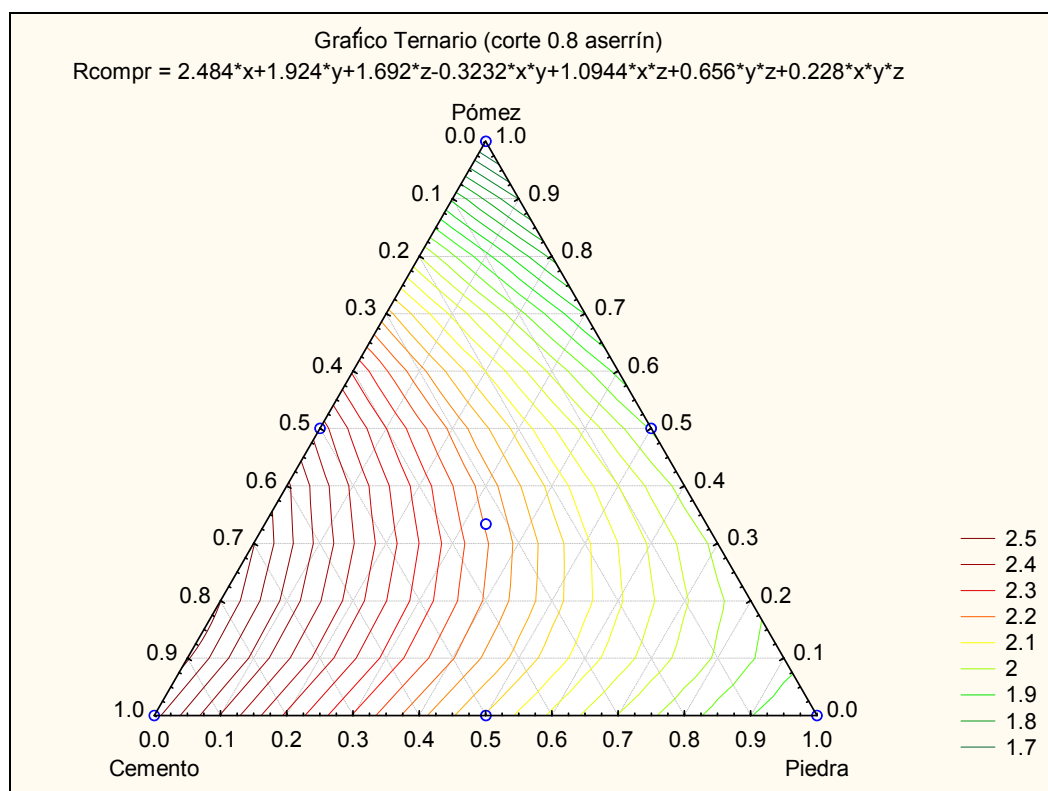


Fig. 4.3 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 80% aserrín)

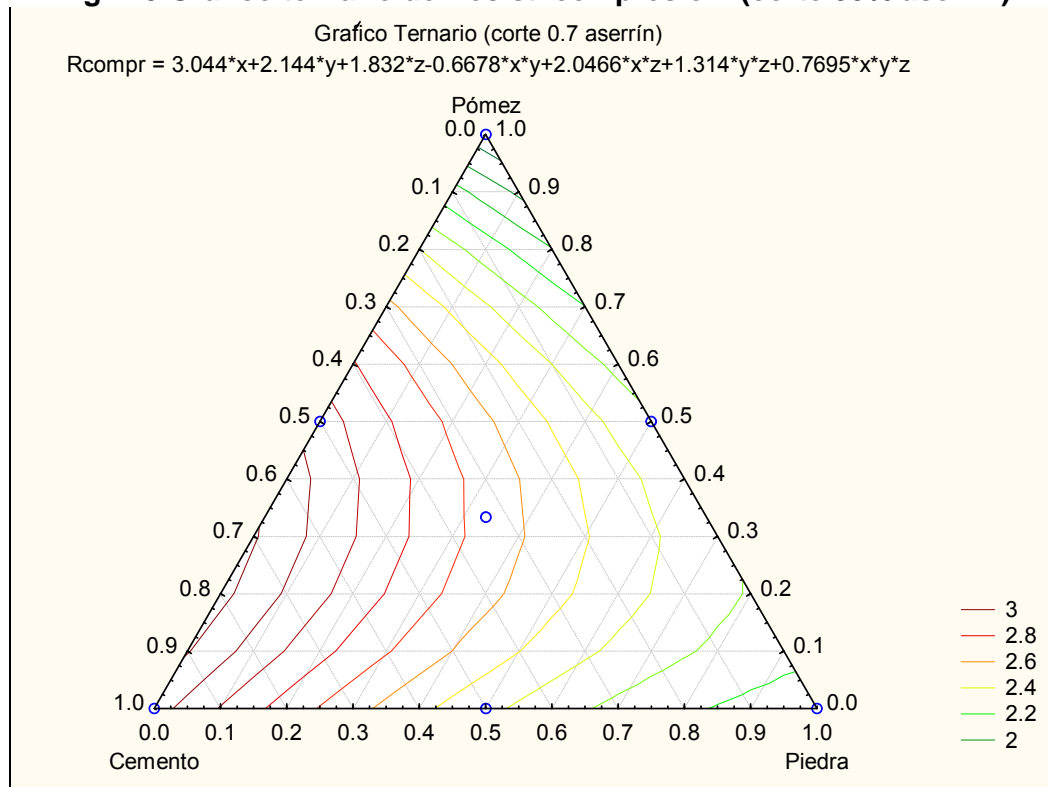


Fig. 4.4 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 70% aserrín)

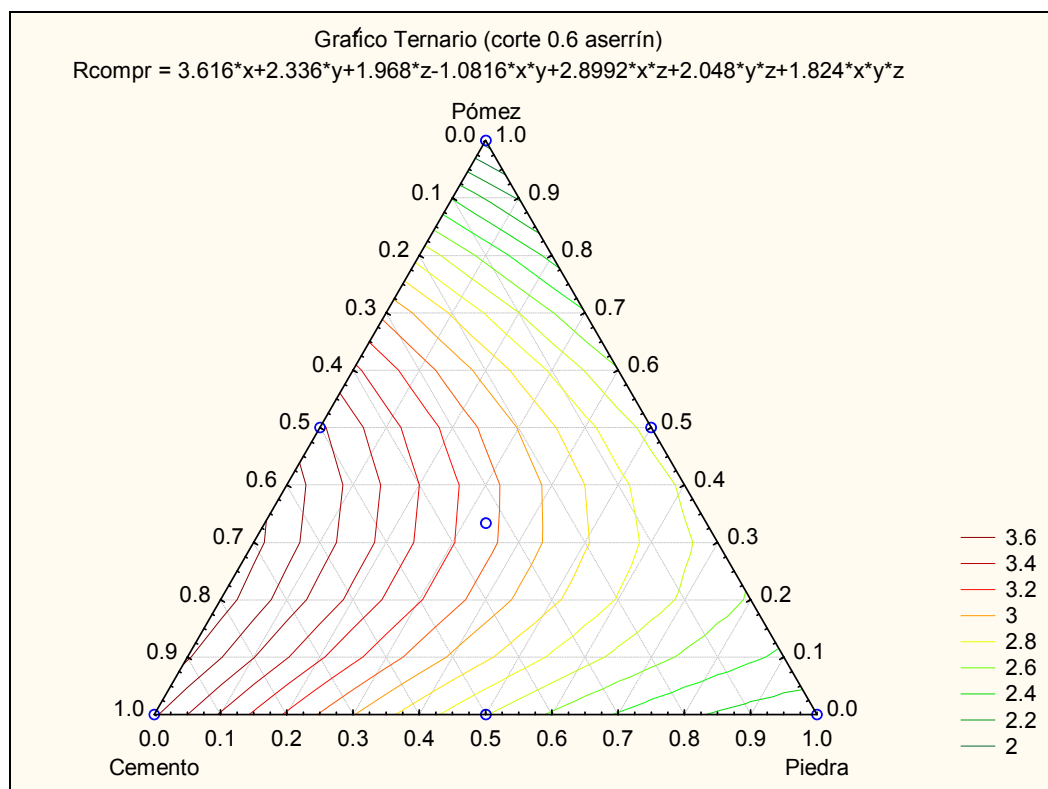


Fig. 4.5 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 60% aserrín)

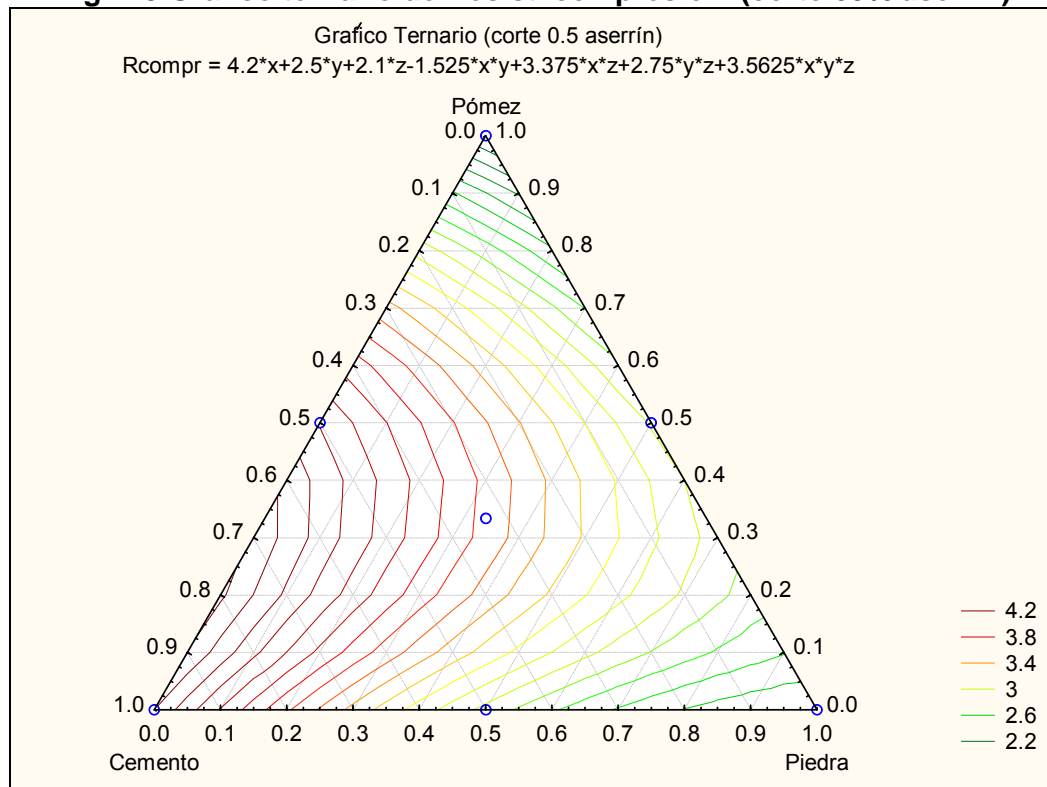


Fig. 4.6 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 50% aserrín)

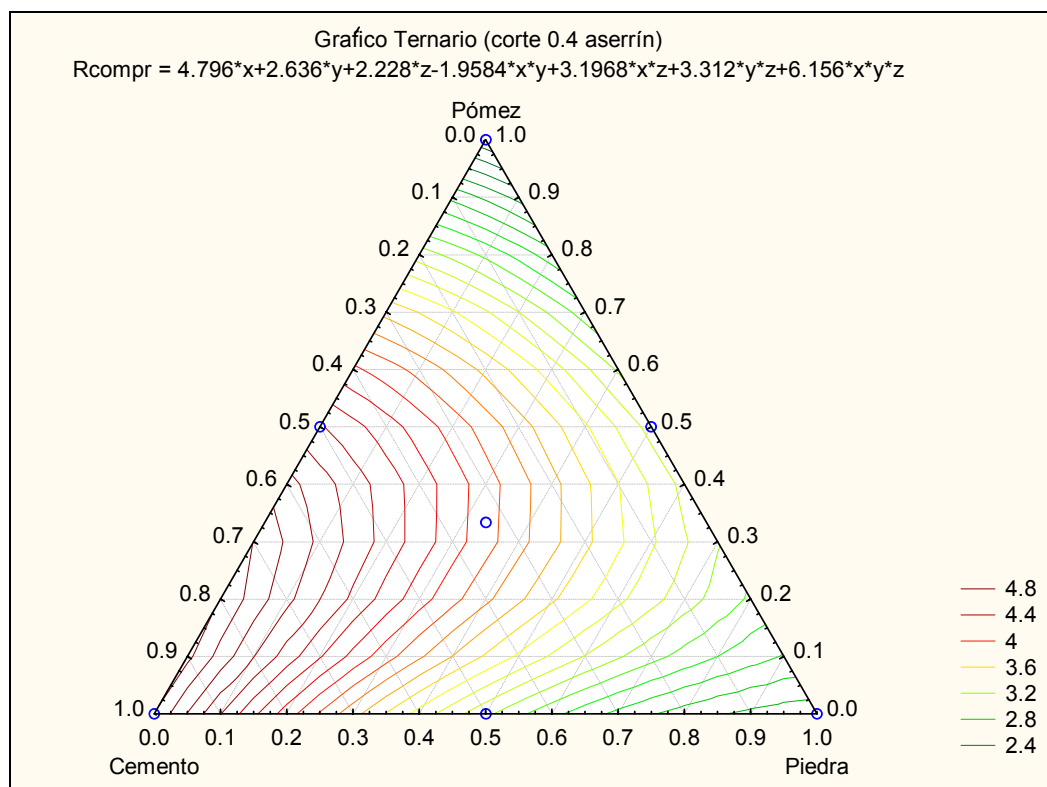


Fig. 4.7 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 40% aserrín)

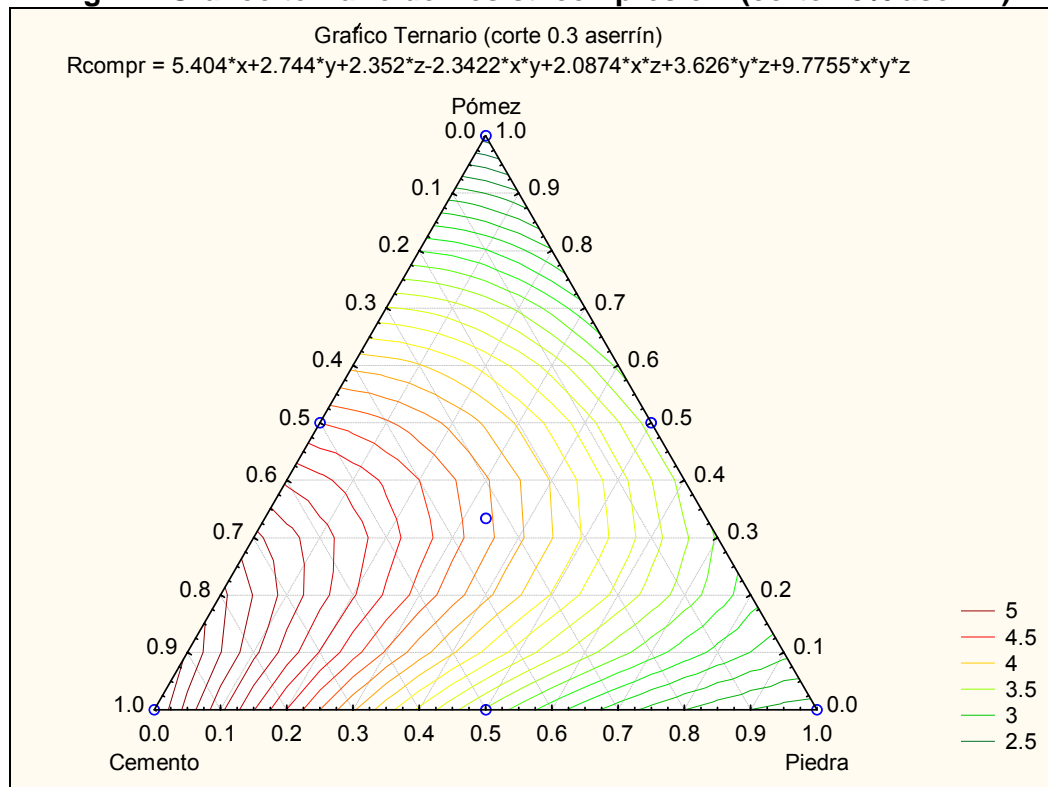


Fig. 4.8 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 30% aserrín)

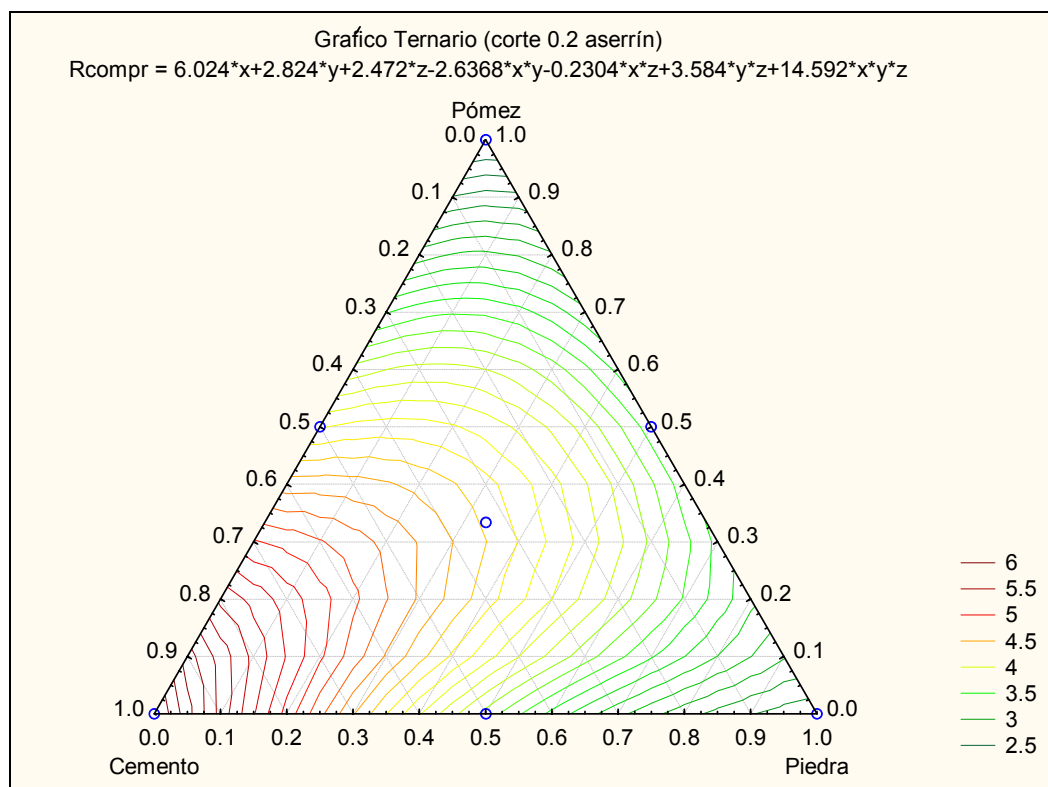


Fig. 4.9 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 20% aserrín)

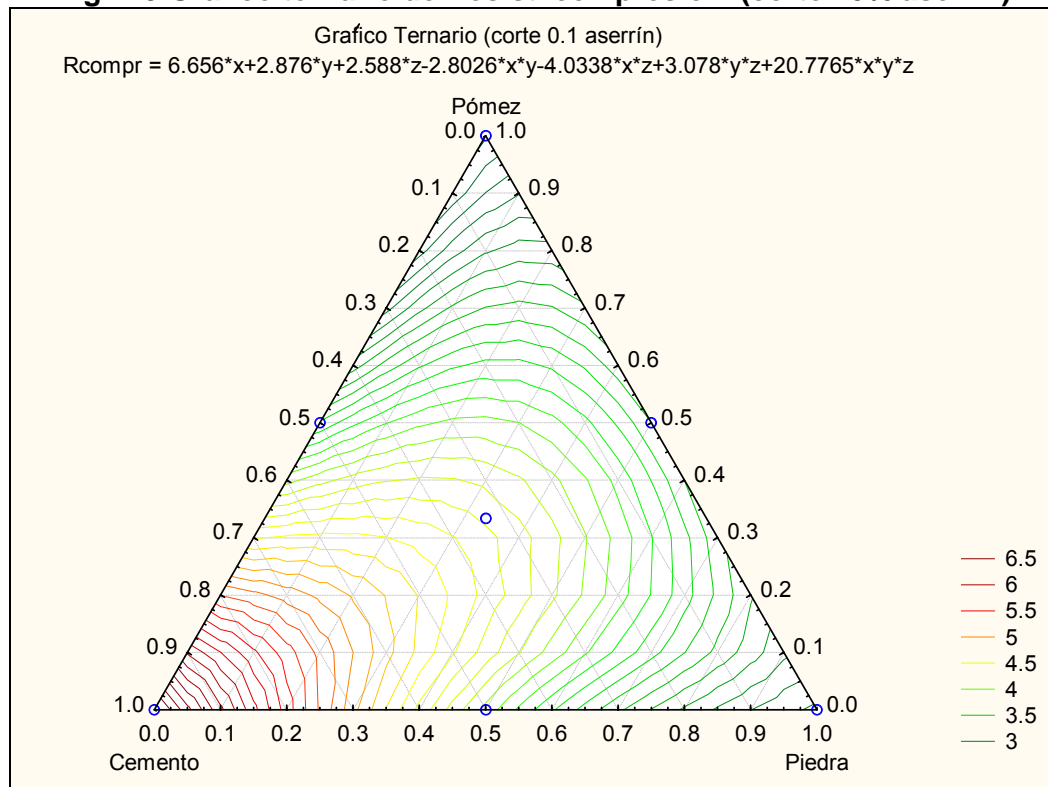


Fig. 4.10 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 10% aserrín)

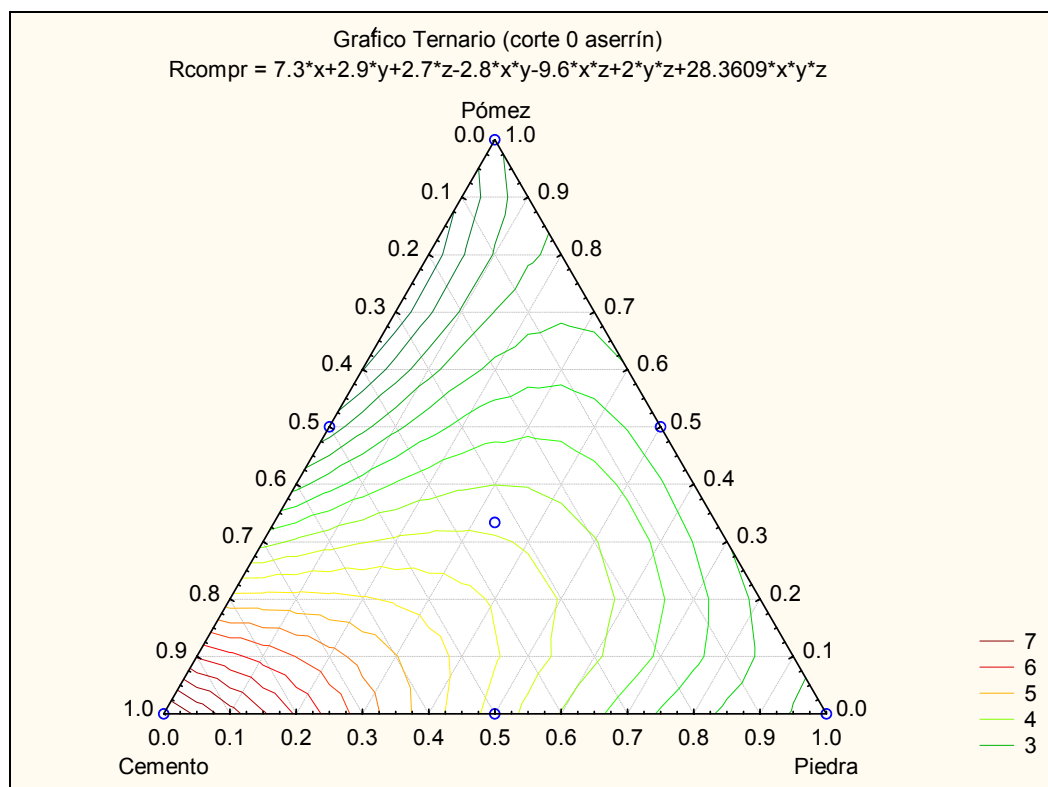


Fig. 4.11 Gráfico ternario de Resist. compresión (corte 0% aserrín)

A continuación se describen de forma rápida lo que ocurre en cada uno de los cortes del tetraedro:

Corte 90%. En este corte se puede observar que la máxima resistencia a la compresión es de 1.9 MPa, por lo que cualquier mezcla dentro de esta gráfica está por debajo de la resistencia mínima que exige la norma para los fines que se desea dar a este tipo de bloques.

Corte 80%. Se puede notar en esta gráfica que ya se puede alcanzar una resistencia de 2.5 MPa con un 90% de la premezcla de cemento y un 10% de la premezcla de pómez como componentes dominantes.

Corte 70%. La resistencia mínima exigida por la norma de 2.5 MPa, se puede obtener con proporciones similares de cada premezcla (cemento, piedra, pómez). Si aumenta la cantidad de cemento, la resistencia también aumenta, pero a medida que aumentan las cantidades de piedra o pómez, la resistencia disminuye.

Corte 60%. La combinación entre las premezclas de piedra y pómez, una en mayor proporción que la otra o viceversa, nos dan resistencias aproximadas a la mínima requerida, a medida que los porcentajes se van igualando, la resistencia va creciendo en pequeñas escalas, pero si se combinan con la premezcla de cemento, el aumento de la resistencia es más acelerado.

Corte 50%. La premezcla de piedra como elemento dominante sin combinación con otras premezclas, nos proporciona una resistencia exacta de 2.5 MPa. Al combinarlas con cualquiera de las otras premezclas su resistencia aumenta. Mientras que la premezcla de pómez sola, aún sigue siendo menor a la mínima requerida.

Corte 40%. Al igual que el corte anterior, la resistencia supera la mínima deseada en cualquier punto de la gráfica, excepto en la premezcla sola de pómez como material dominante.

Corte 30%. Todas las mezclas aumentan su resistencia gradualmente con respecto al corte anterior, pero la premezcla sola de pómez como elemento dominante aún continúa siendo menor en resistencia que la requerida.

Corte 20%. De la misma manera que los cortes anteriores, la premezcla de pómez sigue por debajo de la requerida, las mezclas siguen aumentando su resistencia,

excepto la mezcla entre cemento y pómez como dominantes, ya que dicha mezcla bajó su resistencia en 0.2 MPa.

Corte 10%. En este corte, la resistencia ya es superior a la mínima exigida por la norma en cualquier punto de la gráfica, la resistencia de las premezclas solas y la mezcla entre cemento y piedra continúa aumentando, la mezcla entre cemento y pómez ahora bajó 0.7 MPa con respecto a la anterior y las mezclas entre piedra y pómez, y la mezcla entre los tres componentes en iguales proporciones también tienen un descenso mínimo en su resistencia.

Corte 0%. En este corte no existe la premezcla de aserrín como dominante, pero sí está presente en las otras premezclas y se obtienen las mayores resistencias en las otras tres premezclas solas y en la mezcla entre cemento y piedra. La mezcla entre cemento y pómez bajó notablemente (1 MPa) y las mezclas entre piedra y pómez y la mezcla entre las tres premezclas todas con iguales proporciones bajaron 0.2 MPa con respecto al corte anterior.

En general, en los diez cortes hechos al tetraedro, se puede observar que a medida que va disminuyendo el porcentaje de aserrín, va aumentando la resistencia a la compresión con cualquier porcentaje de los otros componentes. En todos los casos, la mayor resistencia a la compresión se encuentra donde mayor es la cantidad de cemento, así mismo el polvo de pómez disminuye la resistencia en mayor cantidad que el polvo de piedra.

Para un mejor entendimiento de cómo están dispuestos los gráficos anteriores dentro del tetraedro, se ha hecho un montaje de los gráficos ternarios a escala real dentro de dicho tetraedro como se puede ver en la Fig. 4.12.

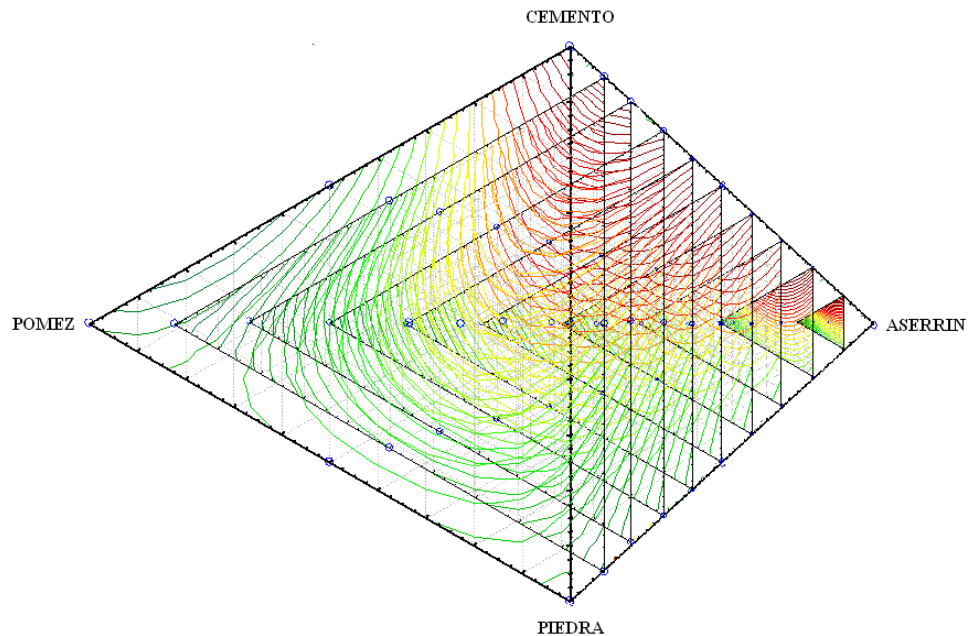


Fig. 4.12 Superficies cortadas en el tetraedro del modelo de resistencia a la compresión

4.1.2 RETRACCIÓN POR SECADO

De igual forma se procede con el modelo de retracción por secado, con la ecuación 4.1 y los valores de retracción por secado de la tabla 4.20.

Se debe tomar en cuenta que la norma pone como máximo un porcentaje de 1.25% de retracción.

TABLA 4.20 Matriz para la determinación de la ecuación polinómica del modelo de Retracción por secado

	Proporciones				Retracción por secado η
	x1	x2	x3	x4	
η_i	1	0	0	0	0,13
η_j	0	1	0	0	0,10
η_k	0	0	1	0	0,12
η_l	0	0	0	1	0,11
η_{ij}	0,5	0,5	0	0	0,16
η_{ik}	0,5	0	0,5	0	0,12
η_{il}	0,5	0	0	0,5	0,13

η_{jk}	0	0,5	0,5	0	0,10
η_{jl}	0	0,5	0	0,5	0,11
η_{kl}	0	0	0,5	0,5	0,14
η_{ijk}	0,3334	0,3334	0,3334	0	0,13
η_{ijl}	0,3334	0,3334	0	0,3334	0,14
η_{ikl}	0,3334	0	0,3334	0,3334	0,14
η_{jkl}	0	0,3334	0,3334	0,3334	0,13
η_{ijkl}	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16

se obtiene la siguiente ecuación polinómica:

$$y(x) = 0,13x_1 + 0,107x_2 + 0,12x_3 + 0,115x_4 + 0,188x_1x_2 - 0,012x_1x_3 + 0,06x_1x_4 - 0,019x_2x_3 + 0,03x_2x_4 + 0,102x_3x_4 - 0,029x_1x_2x_3 - 0,035x_1x_2x_4 + 0,124x_1x_3x_4 + 0,303x_2x_3x_4 \quad (4.3)$$

Los coeficientes resultantes se pueden observar en la tabla 4.21.

TABLA 4.21 Coeficientes de la ecuación polinómica de Retracción por secado

b1	0,130	b12	0,188	b123	-0,029
b2	0,107	b13	-0,012	b124	-0,035
b3	0,120	b14	0,060	b134	0,124
b4	0,115	b23	-0,019	b234	0,303
		b24	0,030		
		b34	0,102		

Con estos coeficientes cortamos el tetraedro en planos cada 10% como se ve en las Tablas 4.22 a 4.31.

TABLA 4.22 Retracción con 90% de aserrín

TABLA

4.23

Retracción con 80% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.9)	x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.8)
0,1	0	0	0,9	0,122	0,2	0	0	0,8	0,128
0	0,1	0	0,9	0,117	0	0,2	0	0,8	0,119
0	0	0,1	0,9	0,125	0	0	0,2	0,8	0,133
0,05	0,05	0	0,9	0,120	0,1	0,1	0	0,8	0,125

0,05	0	0,05	0,9	0,124	0,1	0	0,1	0,8	0,131
0	0,05	0,05	0,9	0,122	0	0,1	0,1	0,8	0,128
0,033	0,033	0,033	0,9	0,122	0,066	0,066	0,066	0,8	0,128

TABLA 4.24 Retracción con 70% de aserrín

TABLA

4.25

Retracción con 60% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.7)	x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.6)
0,3	0	0	0,7	0,132	0,4	0	0	0,6	0,136
0	0,3	0	0,7	0,119	0	0,4	0	0,6	0,119
0	0	0,3	0,7	0,138	0	0	0,4	0,6	0,142
0,15	0,15	0	0,7	0,129	0,2	0,2	0	0,6	0,134
0,15	0	0,15	0,7	0,137	0,2	0	0,2	0,6	0,141
0	0,15	0,15	0,7	0,133	0	0,2	0,2	0,6	0,137
0,1	0,1	0,1	0,7	0,134	0,133	0,133	0,133	0,6	0,139

TABLA 4.26 Retracción con 50% de aserrín

TABLA 4.27 Retracción con

40% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.5)	x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.4)
0,5	0	0	0,5	0,138	0,6	0	0	0,4	0,138
0	0,5	0	0,5	0,119	0	0,6	0	0,4	0,118
0	0	0,5	0,5	0,143	0	0	0,6	0,4	0,143
0,25	0,25	0	0,5	0,139	0,3	0,3	0	0,4	0,144
0,25	0	0,25	0,5	0,144	0,3	0	0,3	0,4	0,144
0	0,25	0,25	0,5	0,139	0	0,3	0,3	0,4	0,139
0,166	0,166	0,166	0,5	0,143	0,2	0,2	0,2	0,4	0,145

TABLA 4.28 Retracción con 30% de aserrín

TABLA 4.29 Retracción con

20% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.3)	x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.2)
0,7	0	0	0,3	0,138	0,8	0	0	0,2	0,136
0	0,7	0	0,3	0,116	0	0,8	0	0,2	0,113
0	0	0,7	0,3	0,140	0	0	0,8	0,2	0,135

0,35	0,35	0	0,3	0,149	0,4	0,4	0	0,2	0,154
0,35	0	0,35	0,3	0,142	0,4	0	0,4	0,2	0,138
0	0,35	0,35	0,3	0,137	0	0,4	0,4	0,2	0,131
0,23 3	0,23 3	0,23 3	0,3	0,146	0,26 6	0,26 6	0,26 6	0,2	0,145

**TABLA 4.30 Retracción con 10% de aserrín
0% de aserrín**

TABLA 4.31 Retracción con

x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0.1)	x1	x2	x3	x4	Retracción calculada (0)
0,9	0	0	0,1	0,134	1	0	0	0	0,130
0	0,9	0	0,1	0,110	0	1	0	0	0,107
0	0	0,9	0,1	0,129	0	0	1	0	0,120
0,45	0,45	0	0,1	0,159	0,5	0,5	0	0	0,165
0,45	0	0,45	0,1	0,131	0,5	0	0,5	0	0,122
0	0,45	0,45	0,1	0,122	0	0,5	0,5	0	0,109
0,3	0,3	0,3	0,1	0,141	0,333	0,333	0,333	0	0,135

Los gráficos correspondientes se muestran en las Figs.4.13 a4.22

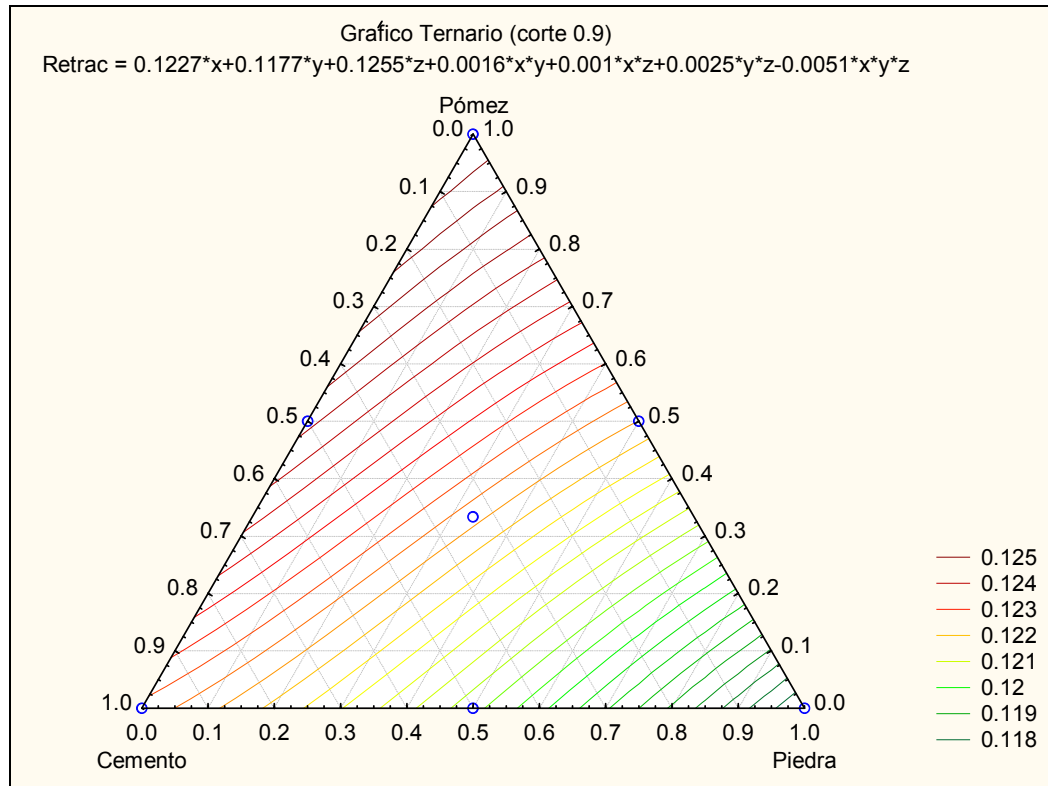


Fig. 4.13 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 90% aserrín)

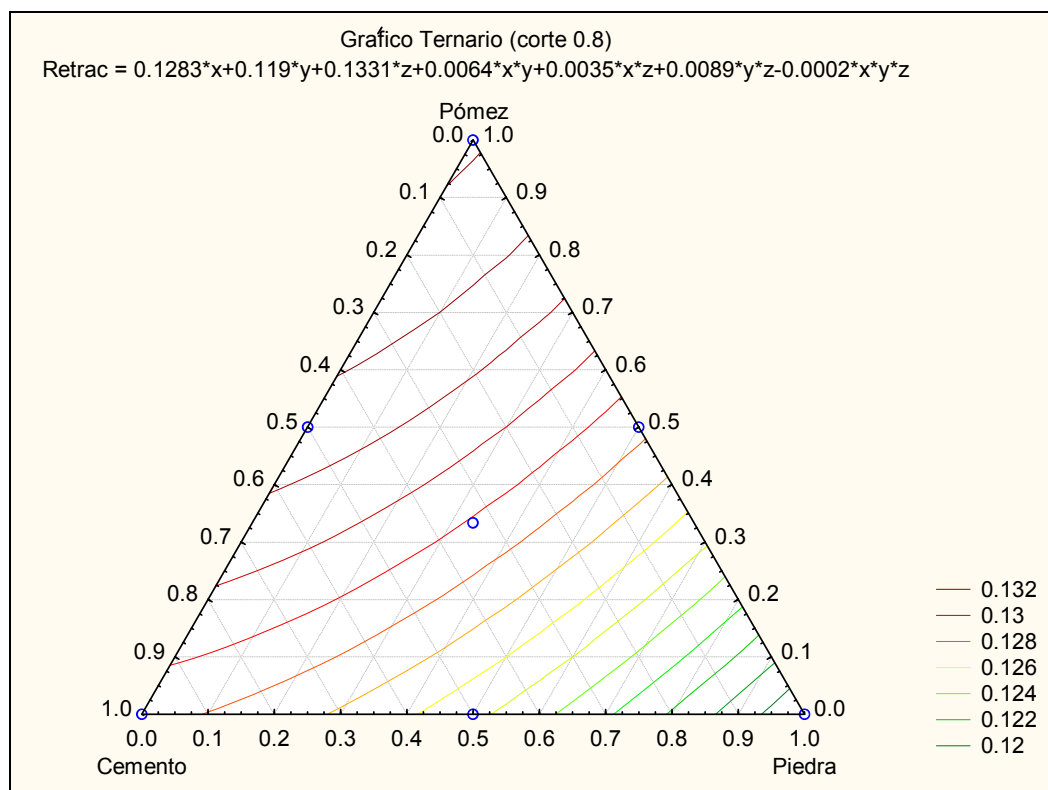


Fig. 4.14 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 80% aserrín)

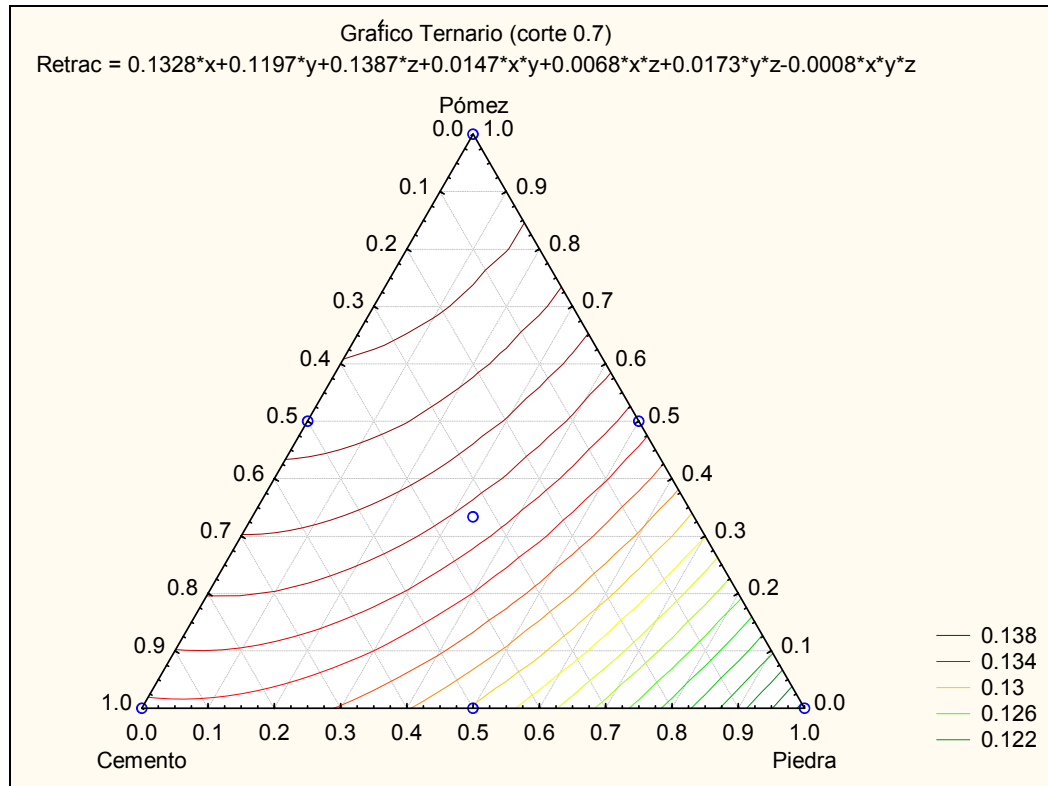


Fig. 4.15 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 70% aserrín)

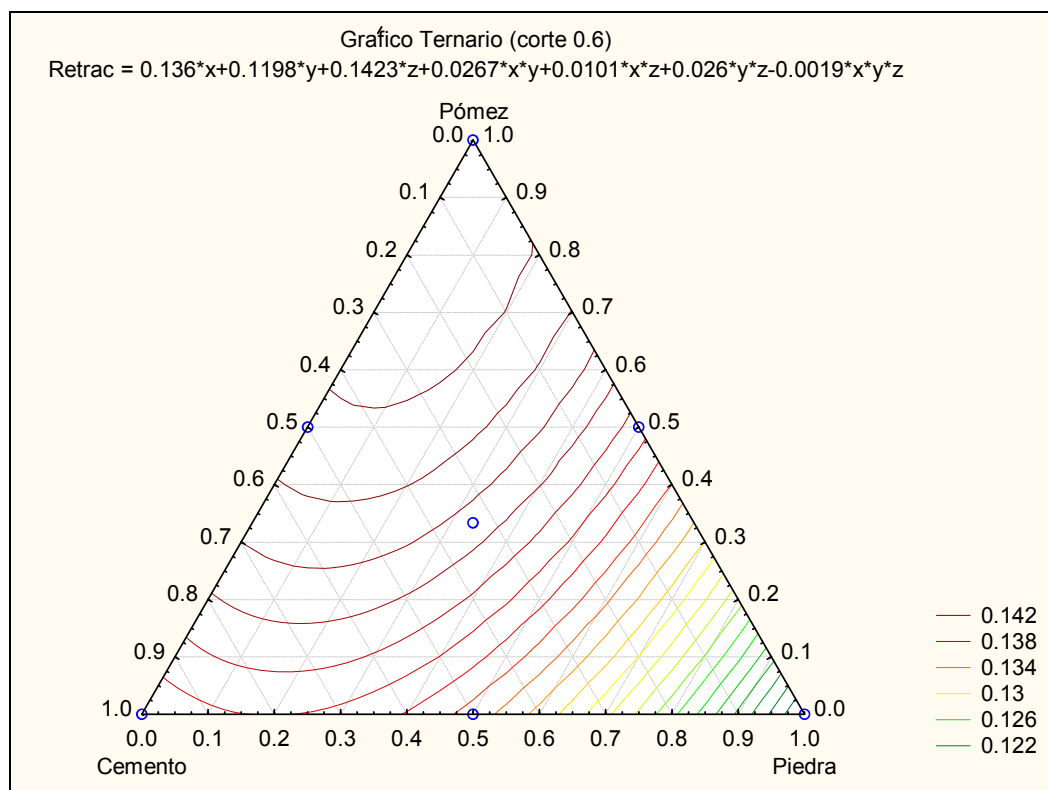


Fig. 4.15 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 60% aserrín)

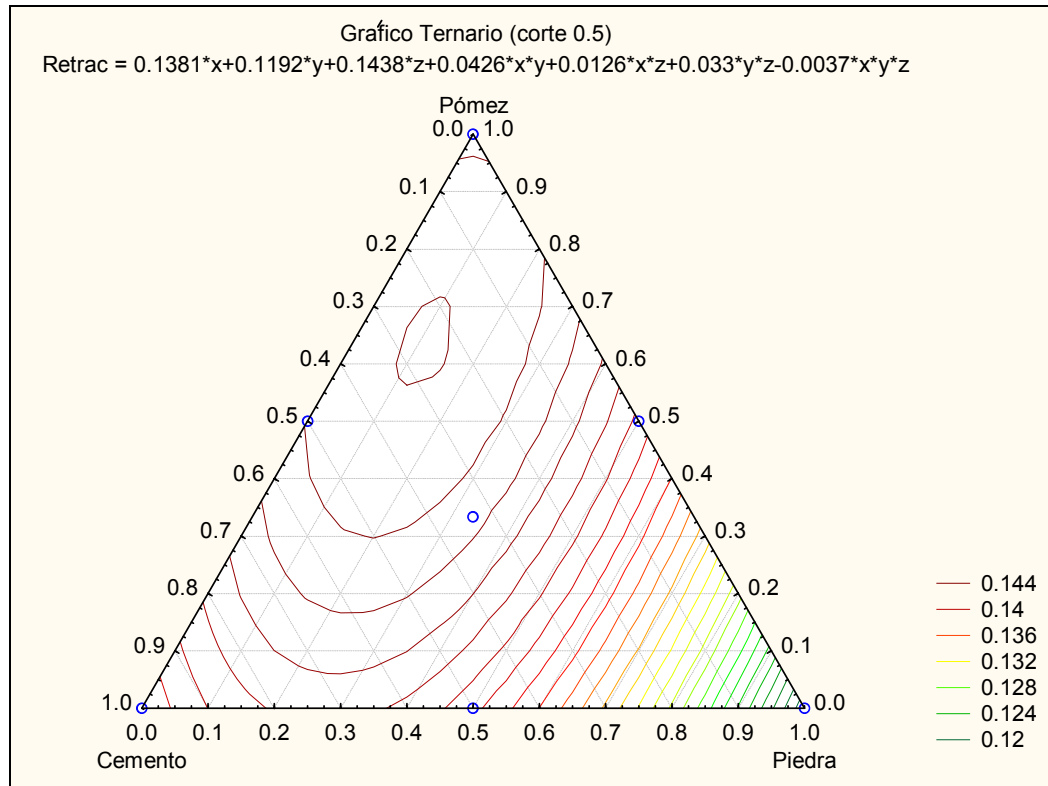


Fig. 4.17 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 50% aserrín)

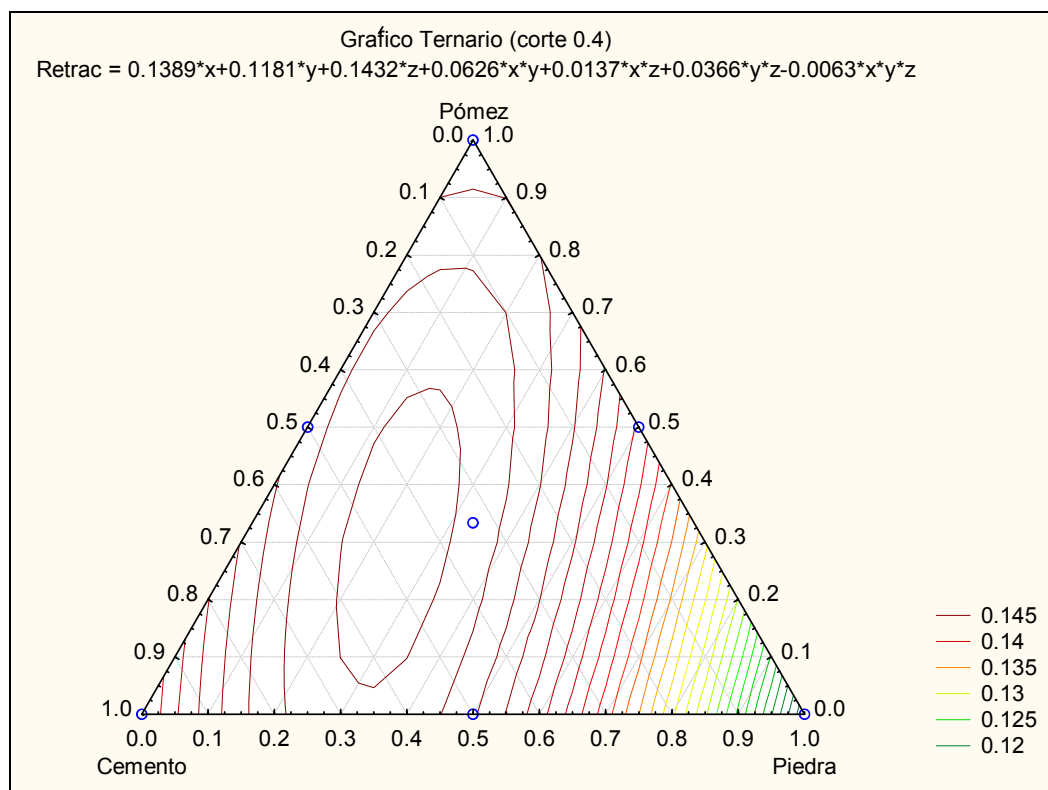


Fig. 4.18 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 40% aserrín)

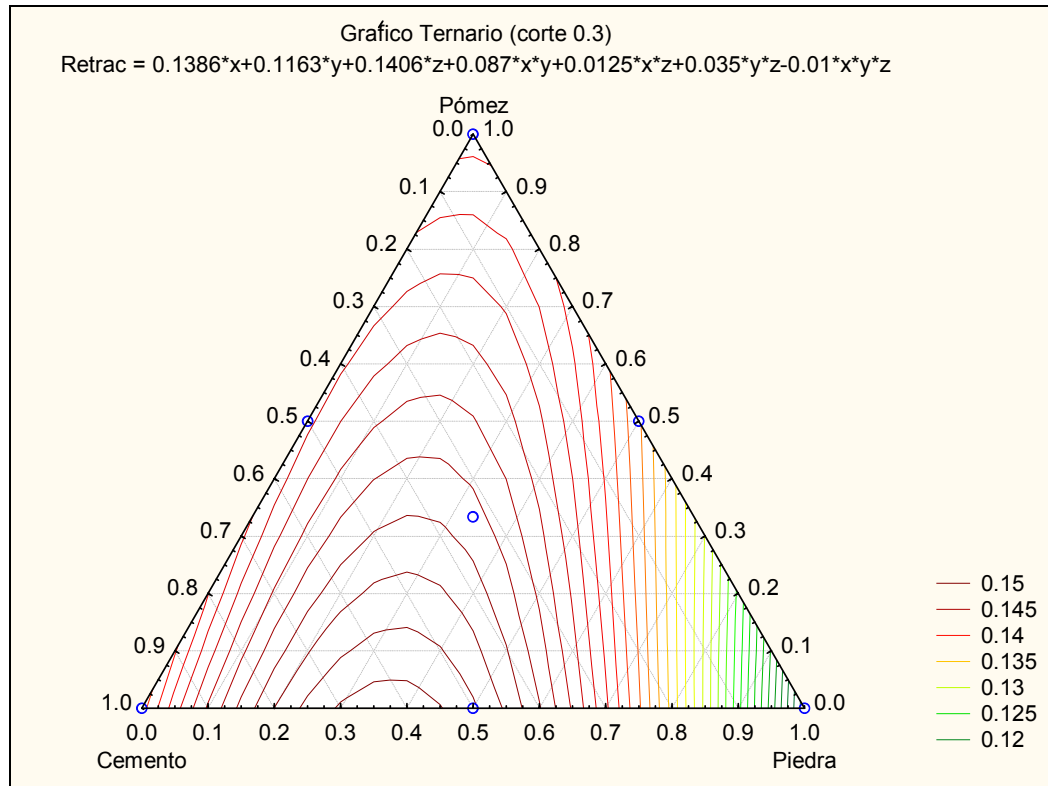


Fig. 4.19 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 30% aserrín)

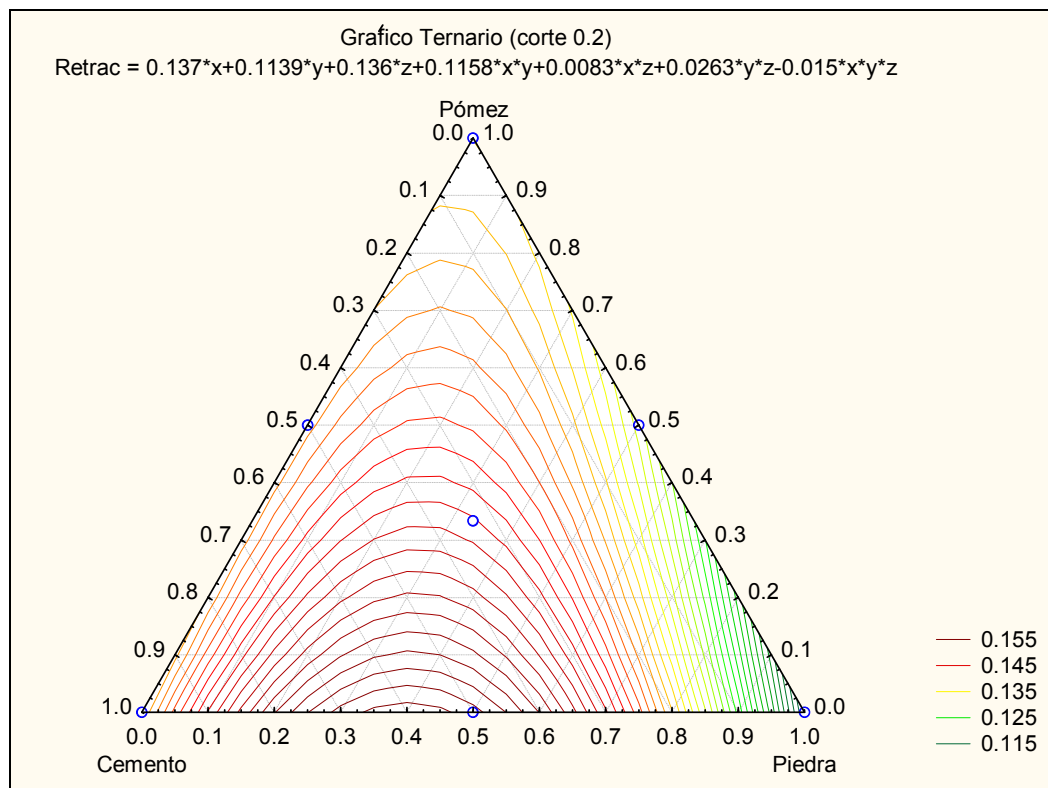


Fig. 4.20 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 20% aserrín)

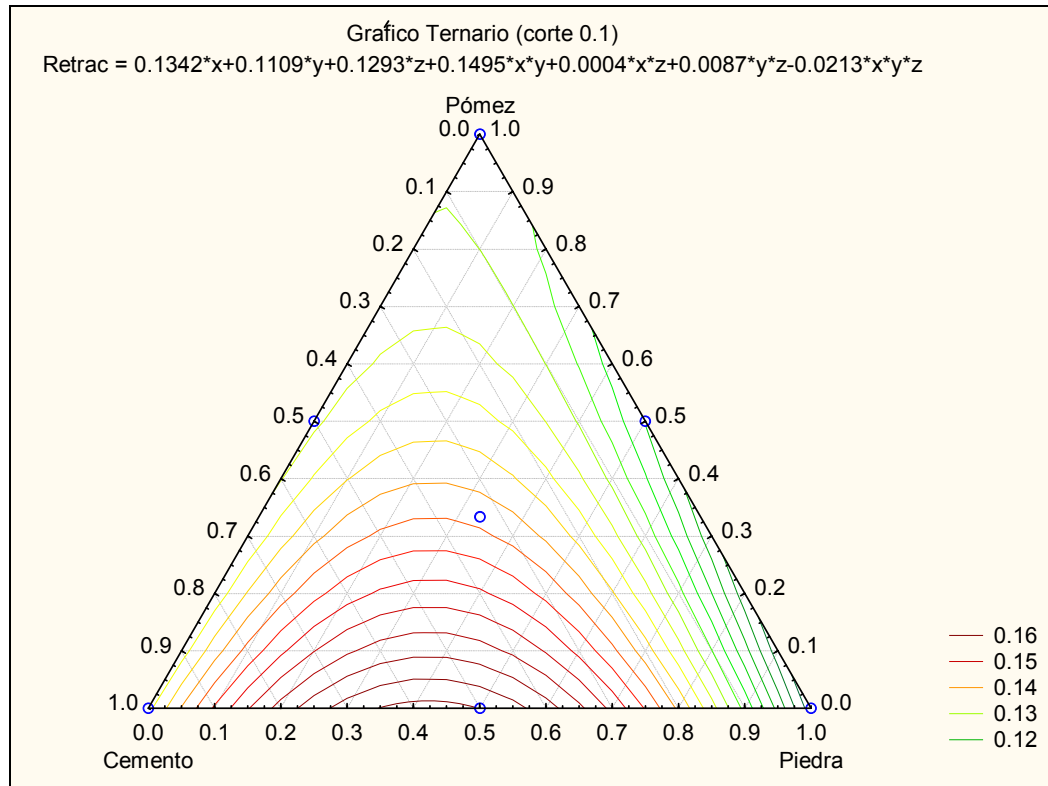


Fig. 4.21 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 10% aserrín)

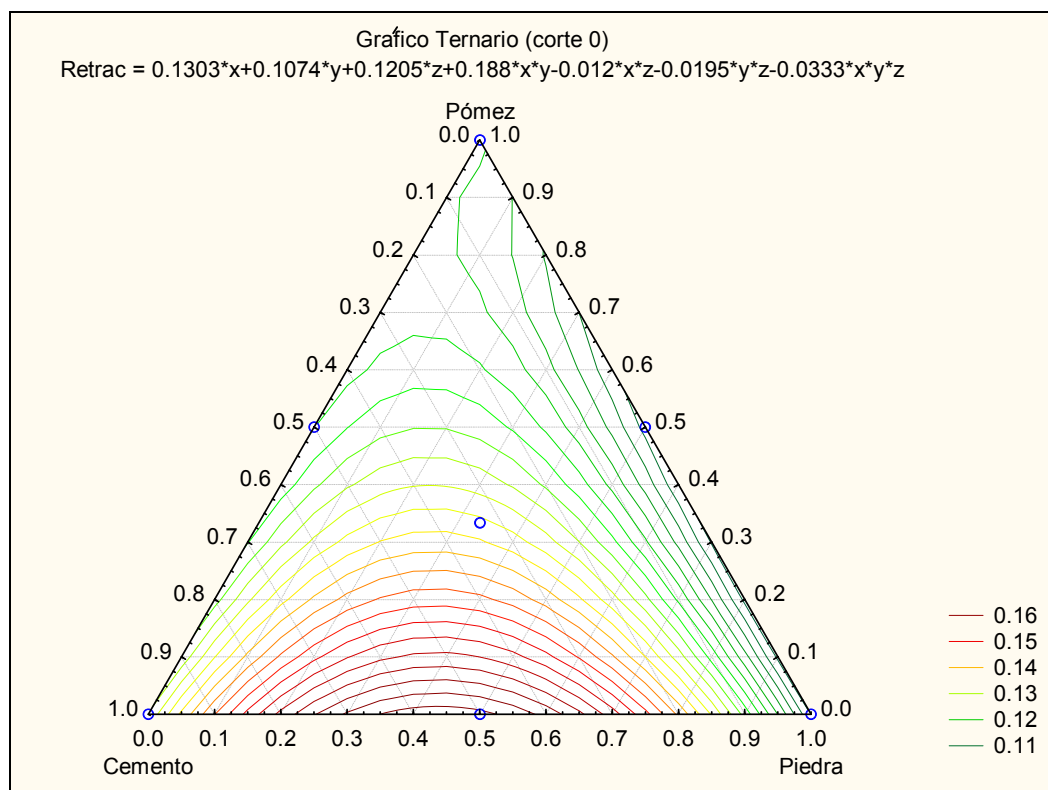


Fig. 4.22 Gráfico ternario de Retracción por secado (corte 0% aserrín)

Al igual que con la compresión, se hará un análisis con los gráficos ternarios de la retracción por secado:

Para empezar notaremos que los valores de retracción por secado en cualquier punto y en todos los gráficos ternarios se encuentran muy por debajo del valor de 1.25% que determina la norma, por lo tanto cualquier mezcla dentro de los rangos de las premezclas propuestas, proporciona una retracción deseable. De preferencia, la retracción debería ser lo menor posible.

Corte 90%. La mayor retracción se da mientras mayor sea la cantidad de pómez, y ésta va disminuyendo lentamente con el aumento de cemento, pero al incrementarse la piedra, la retracción disminuye rápidamente.

Corte 80%. En todos los casos la retracción aumenta con respecto al corte anterior y las mezclas con los otros materiales se comportan de la misma manera.

Corte 70%. Para este caso el comportamiento es similar a los anteriores y la retracción sigue en aumento.

Corte 60%. En este corte las mezclas siguen comportándose de la misma manera con la excepción de la premezcla dominante en piedra que se mantiene igual a la retracción del corte anterior, incluso dicha premezcla llegó a su máximo valor de retracción.

Corte 50%. Las mezclas entre cemento y pómez siguen en aumento de su retracción, pero la premezcla dominante en piedra va disminuyendo el valor de retracción.

Corte 40%. La retracción para las mezclas con mayor cantidad de cemento siguen aumentando pero en menor escala, las mezclas con piedra siguen disminuyendo y las de pómez empezaron a bajar su valor de retracción.

Corte 30%. Todas las mezclas empezaron a bajar su retracción, excepto la formada por cemento y piedra y la mezcla de las tres premezclas en iguales proporciones.

Corte 20%. Ahora baja la retracción de todas las mezcla a excepción de la formada por las premezclas de cemento y piedra.

Corte 10%. El comportamiento en este corte es igual que en el corte anterior.

Corte 0%. Las mezclas se siguen comportando de la misma manera que en los últimos cortes, incluso la mezcla en iguales proporciones entre cemento y piedra

como elementos dominantes ha llegado ha tener en este corte el máximo valor de retracción (0.1658%) de todas las mezclas, mientras que la premezcla sola de piedra como elemento dominante en este corte llegó a tener la menor retracción (0.1073%) también entre todas las mezclas.

El montaje de los gráficos ternarios para la retracción por secado en el tetraedro se puede ver en la figura 4.23.

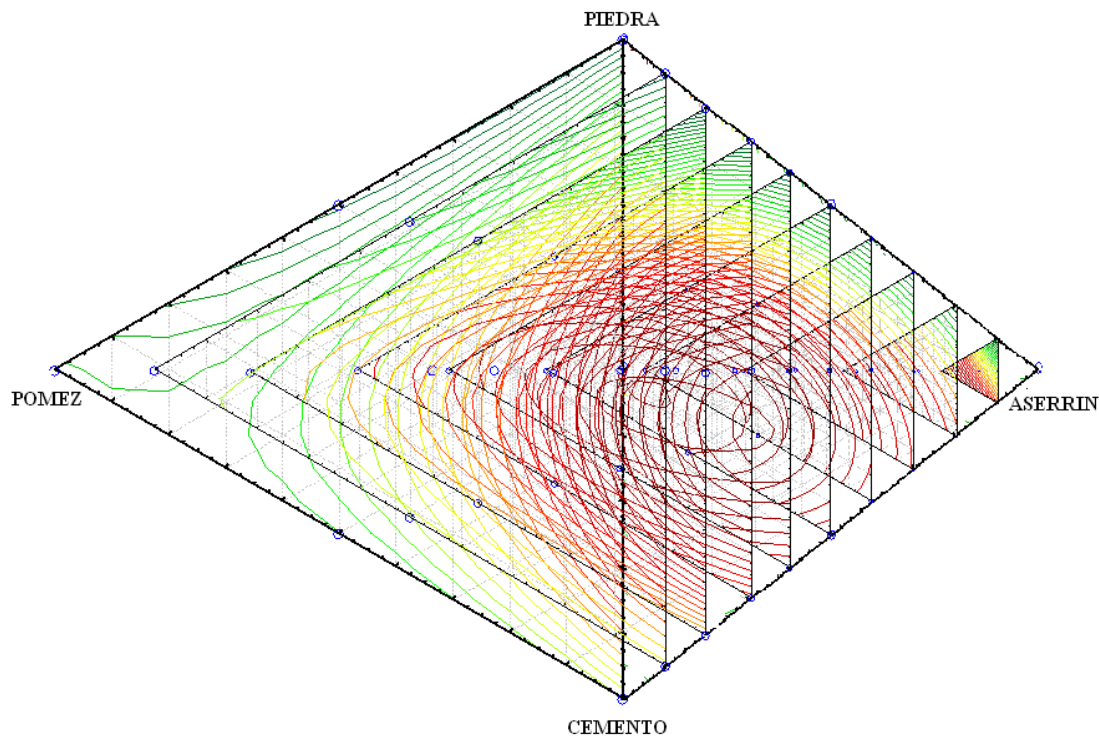


Fig. 4.23 Superficies cortadas en el tetraedro del modelo de retracción por secado

4.1.3 ABSORCIÓN DE AGUA

Así mismo con la ecuación 4.1 y los valores de la tabla 4.32 se analizan los comportamientos entre las premezcla anteriormente establecidas para el caso de absorción de agua:

TABLA 4.32 Matriz para la determinación de la ecuación polinómica del modelo de Absorción de agua

	Proporciones				Absorción de agua η
	x1	x2	x3	x4	
η_i	1	0	0	0	9,59
η_j	0	1	0	0	10,90
η_k	0	0	1	0	13,99
η_l	0	0	0	1	17,66
η_{ij}	0,5	0,5	0	0	14,25
η_{ik}	0,5	0	0,5	0	15,01
η_{il}	0,5	0	0	0,5	17,39
η_{jk}	0	0,5	0,5	0	16,92
η_{jl}	0	0,5	0	0,5	15,80
η_{kl}	0	0	0,5	0,5	18,92
η_{ijk}	0,3334	0,3334	0,3334	0	12,37
η_{ijl}	0,3334	0,3334	0	0,3334	17,16
η_{ikl}	0,3334	0	0,3334	0,3334	17,10
η_{jkl}	0	0,3334	0,3334	0,3334	15,90
η_{ijkl}	0,25	0,25	0,25	0,25	13,33

la ecuación polinómica para el modelo de absorción de agua resulta:

$$y(x) = 9.39x_1 + 10.9x_2 + 13.99x_3 + 17.00x_4 + 10.02x_1x_2 + 12.88x_1x_3 + 13.00x_1x_4 + 17.9x_2x_3 + 0.07x_2x_4 + 12.36x_3x_4 - 116.03x_1x_2x_3 + 8.33x_1x_2x_4 - 30.48x_1x_3x_4 - 62.37x_2x_3x_4 \quad (4.4)$$

Los coeficientes se muestran en la tabla 4.33.

TABLA 4.33 Coeficientes de la ecuación polinómica de Absorción de agua

b1	9,594	b12	16,021	b34	12,366
b2	10,900	b13	12,888	b123	-116,655
b3	13,995	b14	15,068	b124	8,555
b4	17,668	b23	17,905	b134	-30,483
		b24	6,073	b234	-62,574

Los coeficientes para los planos de corte resultantes se ven en las Tablas 4.34 a 4.43

**TABLA 4.34 Absorción agua 90% de aserrín
agua 80% de aserrín**

TABLA 4.35 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.9)
0,1	0	0	0,9	18,217
0	0,1	0	0,9	17,538
0	0	0,1	0,9	18,414
0,05	0,05	0	0,9	17,937
0,05	0	0,05	0,9	18,279
0	0,05	0,05	0,9	17,880
0,033	0,033	0,033	0,9	17,999

TABLA 4.36 Absorción agua 70% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.8)
0,2	0	0	0,8	18,464
0	0,2	0	0,8	17,286
0	0	0,2	0,8	18,912
0,1	0,1	0	0,8	18,104
0,1	0	0,1	0,8	18,573
0	0,1	0,1	0,8	17,778
0,066	0,066	0,066	0,8	18,094

TABLA 4.37 Absorción

agua 60% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.7)
0,3	0	0	0,7	18,410
0	0,3	0	0,7	16,913
0	0	0,3	0,7	19,163
0,15	0,15	0	0,7	18,157
0,15	0	0,15	0,7	18,597
0	0,15	0,15	0,7	17,456
0,1	0,1	0,1	0,7	17,922

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.6)
0,4	0	0	0,6	18,055
0	0,4	0	0,6	16,419
0	0	0,4	0,6	19,167
0,2	0,2	0	0,6	18,083
0,2	0	0,2	0,6	18,395
0	0,2	0,2	0,6	17,007
0,133	0,133	0,133	0,6	17,535

TABLA 4.38 Absorción agua 50% de aserrín

TABLA 4.39 Absorción

agua 40% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.5)
0,5	0	0	0,5	17,398
0	0,5	0	0,5	15,803
0	0	0,5	0,5	18,923
0,25	0,25	0	0,5	17,869
0,25	0	0,25	0,5	18,014
0	0,25	0,25	0,5	16,527
0,166	0,166	0,166	0,5	16,961

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.4)
0,6	0	0	0,4	16,440
0	0,6	0	0,4	15,065
0	0	0,6	0,4	18,432
0,3	0,3	0	0,4	17,502
0,3	0	0,3	0,4	17,499
0	0,3	0,3	0,4	16,107
0,2	0,2	0,2	0,4	16,233

TABLA 4.40 Absorción agua 30% de aserrín

TABLA 4.41 Absorción

agua 20% de aserrín

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.3)
0,7	0	0	0,3	15,180

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.2)
0,8	0	0	0,2	13,620

0	0,7	0	0,3	14,206	0	0,8	0	0,2	13,226
0	0	0,7	0,3	17,694	0	0	0,8	0,2	16,708
0,35	0,35	0	0,3	16,970	0,4	0,4	0	0,2	16,260
0,35	0	0,35	0,3	16,896	0,4	0	0,4	0,2	16,251
0	0,35	0,35	0,3	15,844	0	0,4	0,4	0,2	15,829
0,233	0,233	0,233	0,3	15,380	0,266	0,266	0,266	0,2	14,433

**TABLA 4.42 Absorción agua 10% de aserrín
agua 0% de aserrín**

TABLA 4.43 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.1)	x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0)
0,9	0	0	0,1	11,757	1	0	0	0	9,594
0	0,9	0	0,1	12,124	0	1	0	0	10,900
0	0	0,9	0,1	15,475	0	0	1	0	13,995
0,45	0,45	0	0,1	15,358	0,5	0,5	0	0	14,252
0,45	0	0,45	0,1	15,609	0,5	0	0,5	0	15,016
0	0,45	0,45	0,1	16,158	0	0,5	0,5	0	16,924
0,3	0,3	0,3	0,1	13,422	0,333	0,333	0,333	0	12,368

Los gráficos correspondientes se muestran en las Figs.4.24 a 4.33

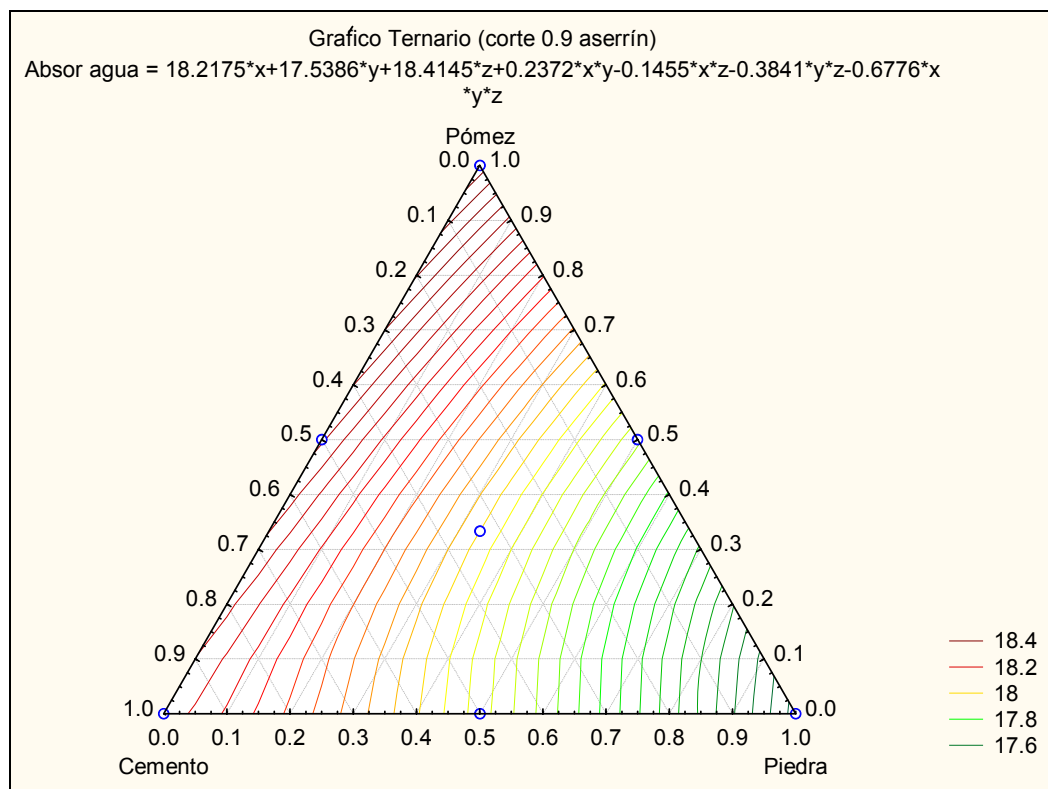


Fig. 4.24 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 90% aserrín)

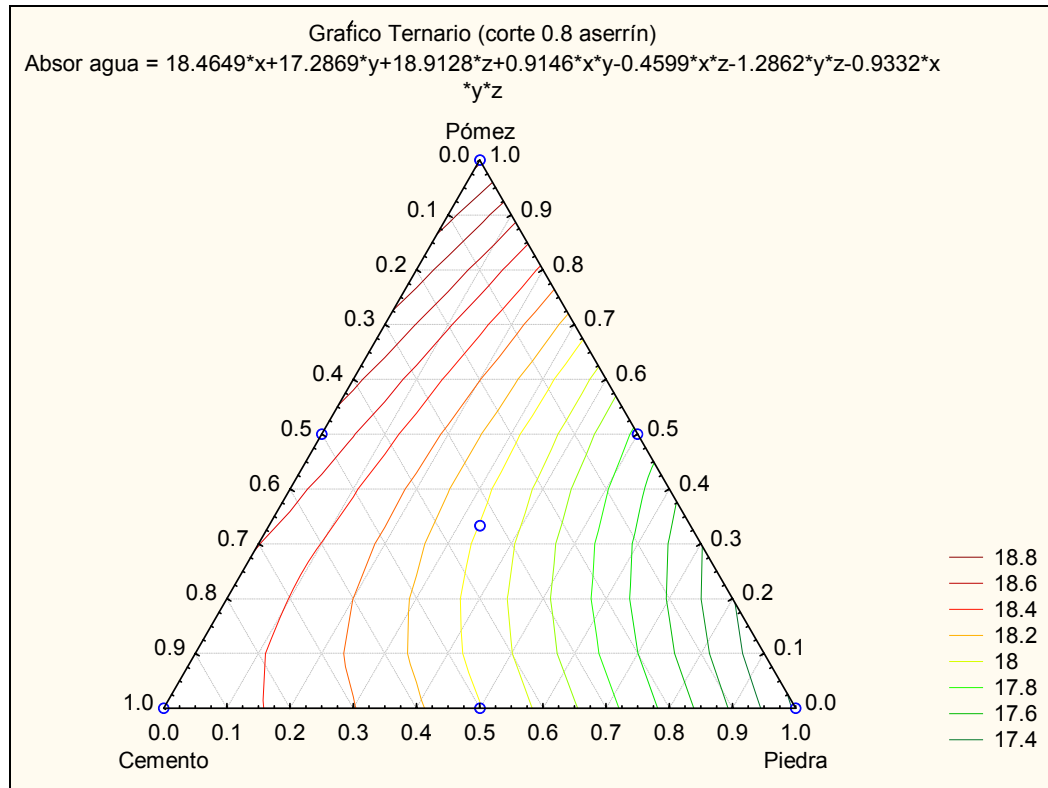


Fig. 4.25 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 80% aserrín)

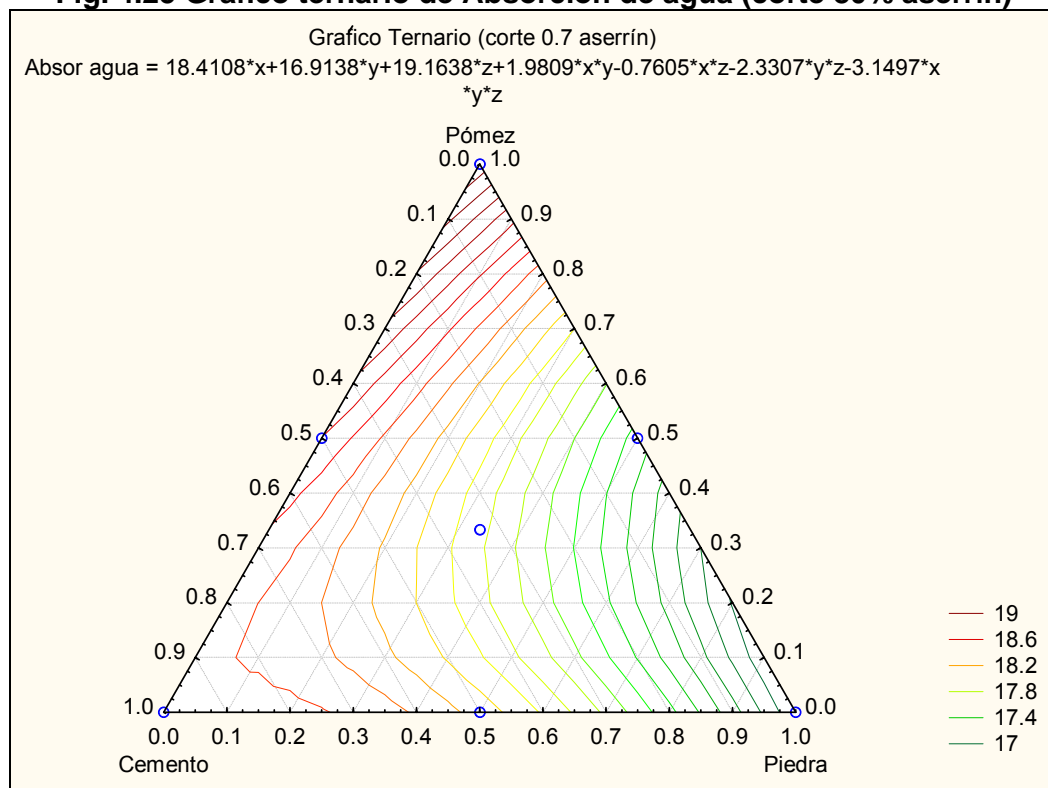


Fig. 4.26 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 70% aserrín)

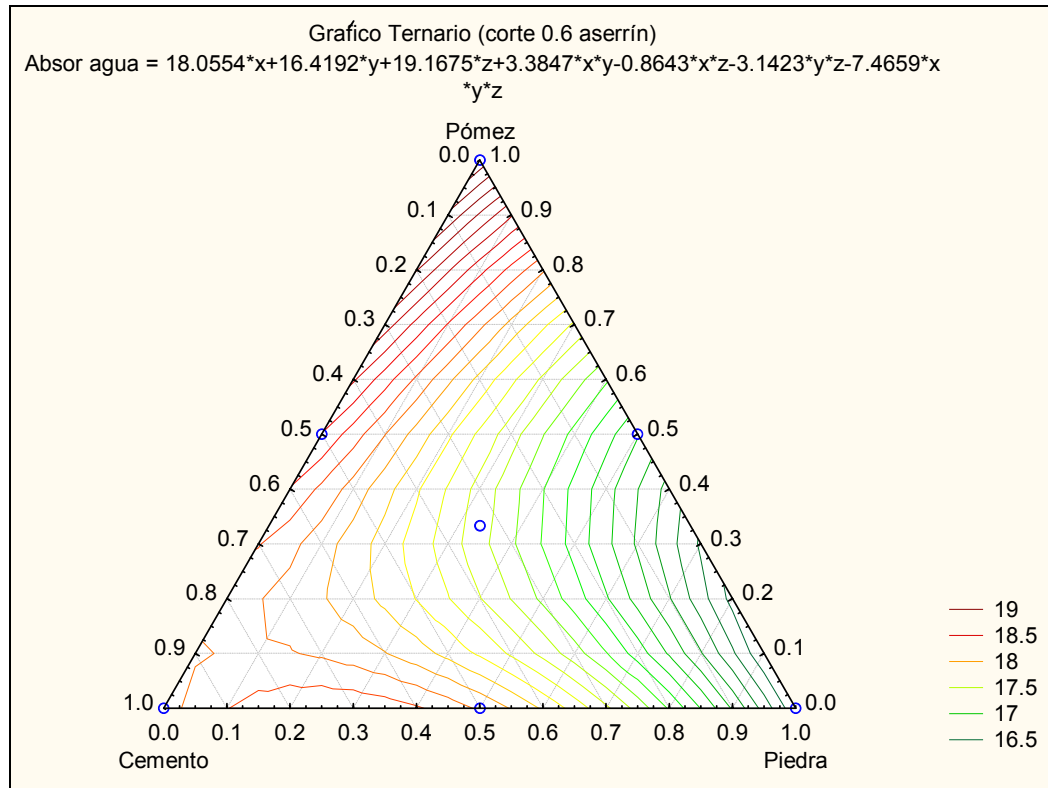


Fig. 4.27 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 60% aserrín)

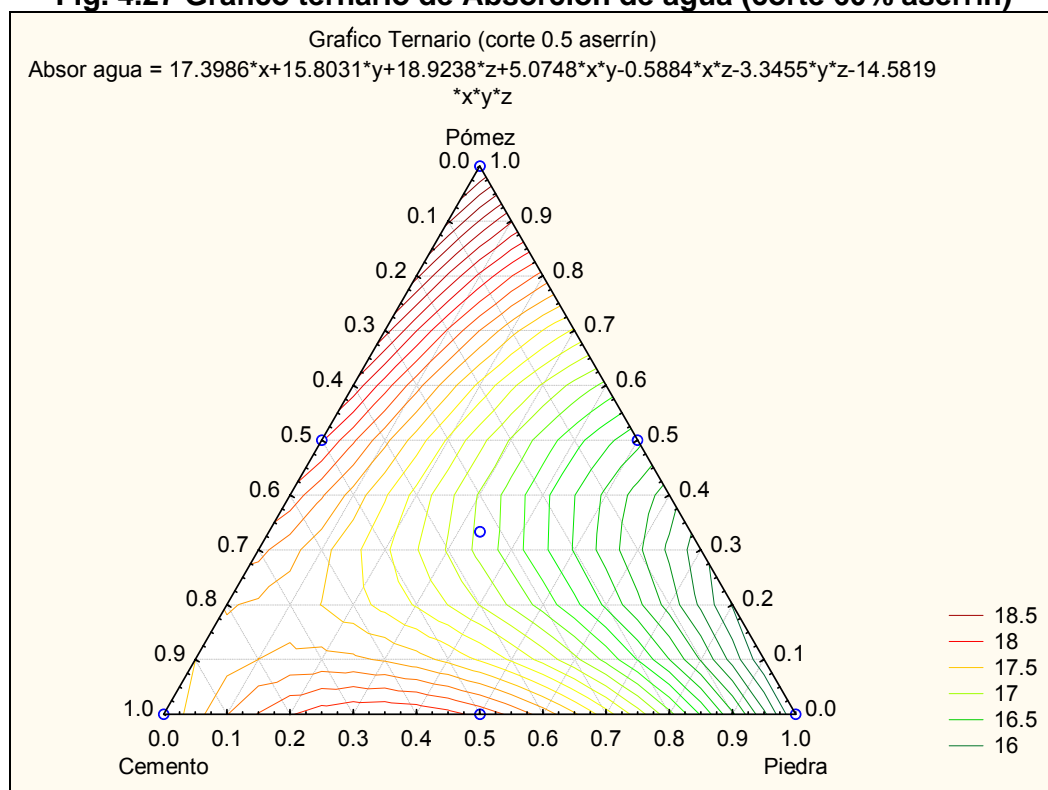


Fig. 4.28 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 50% aserrín)

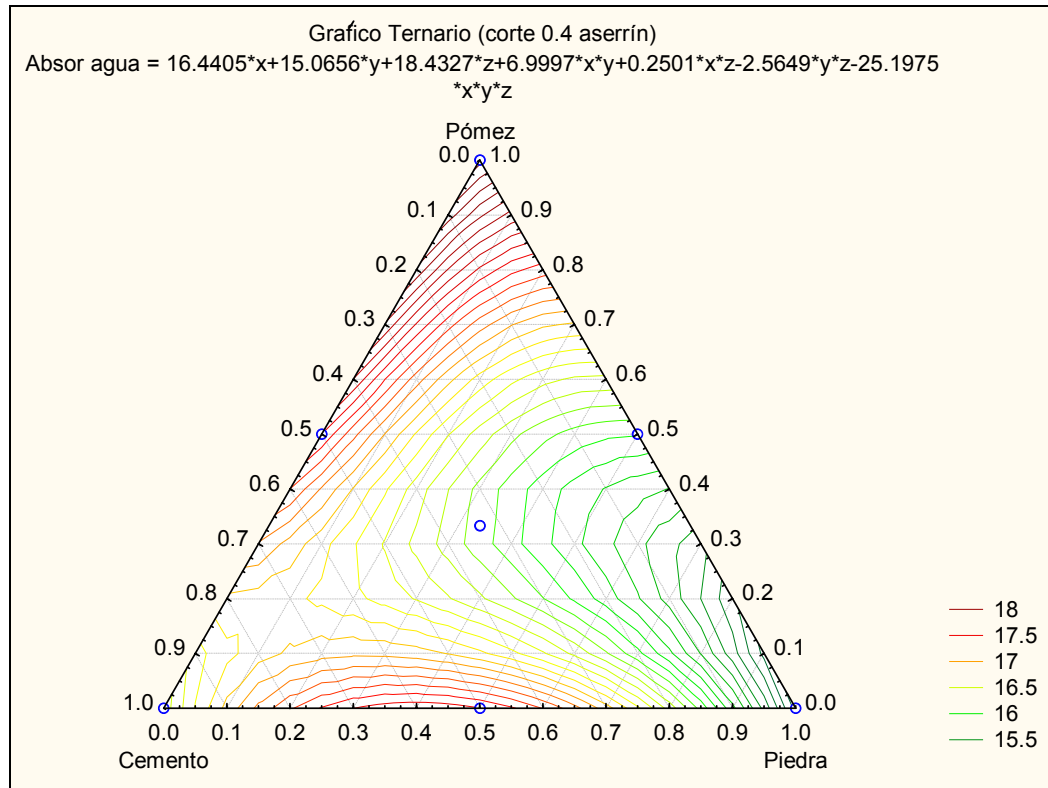


Fig. 4.29 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 40% aserrín)

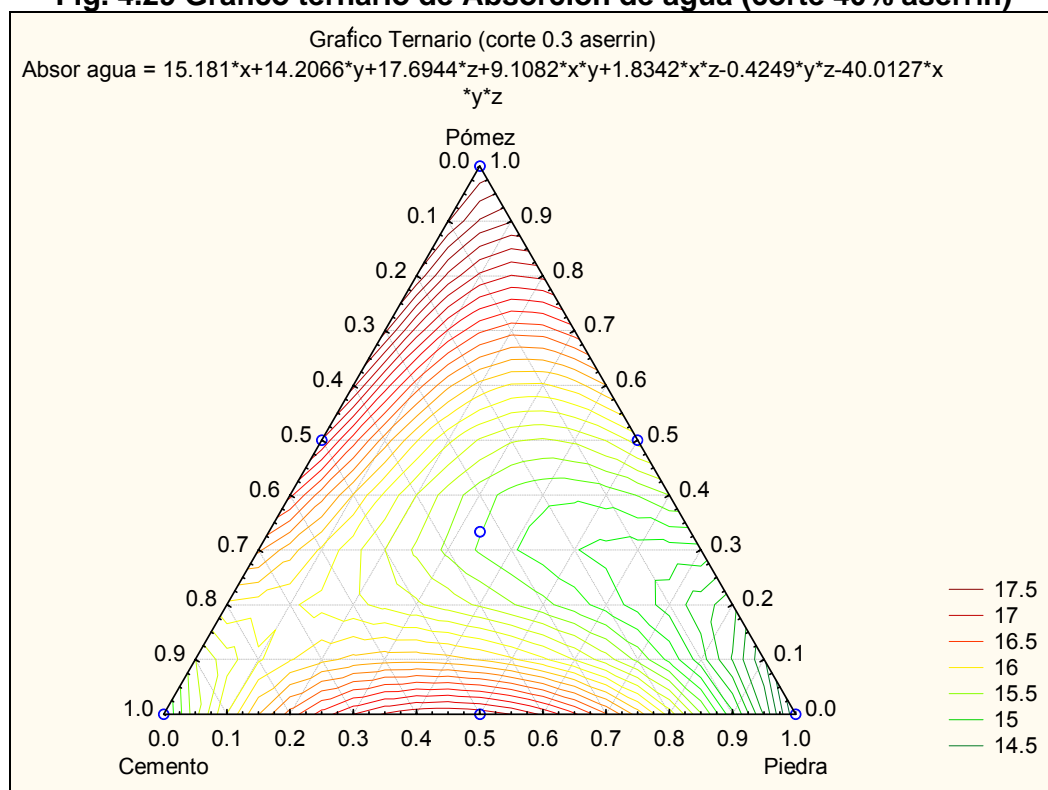


Fig. 4.30 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 30% aserrín)

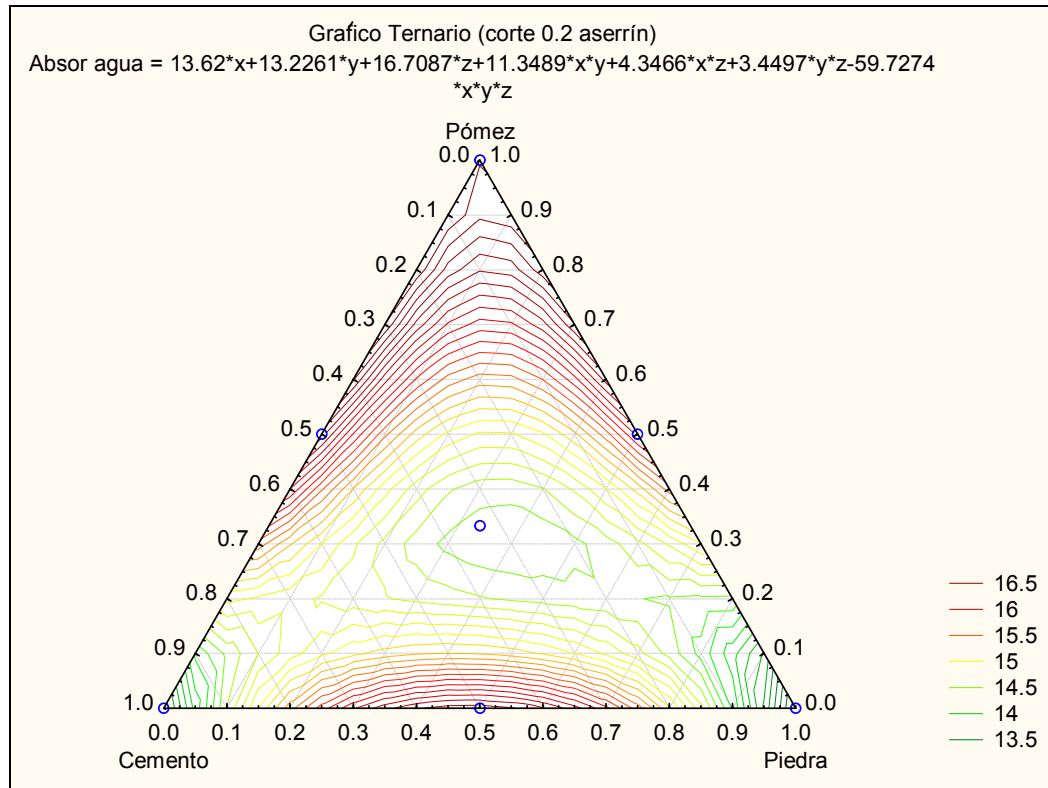


Fig. 4.31 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 20% aserrín)

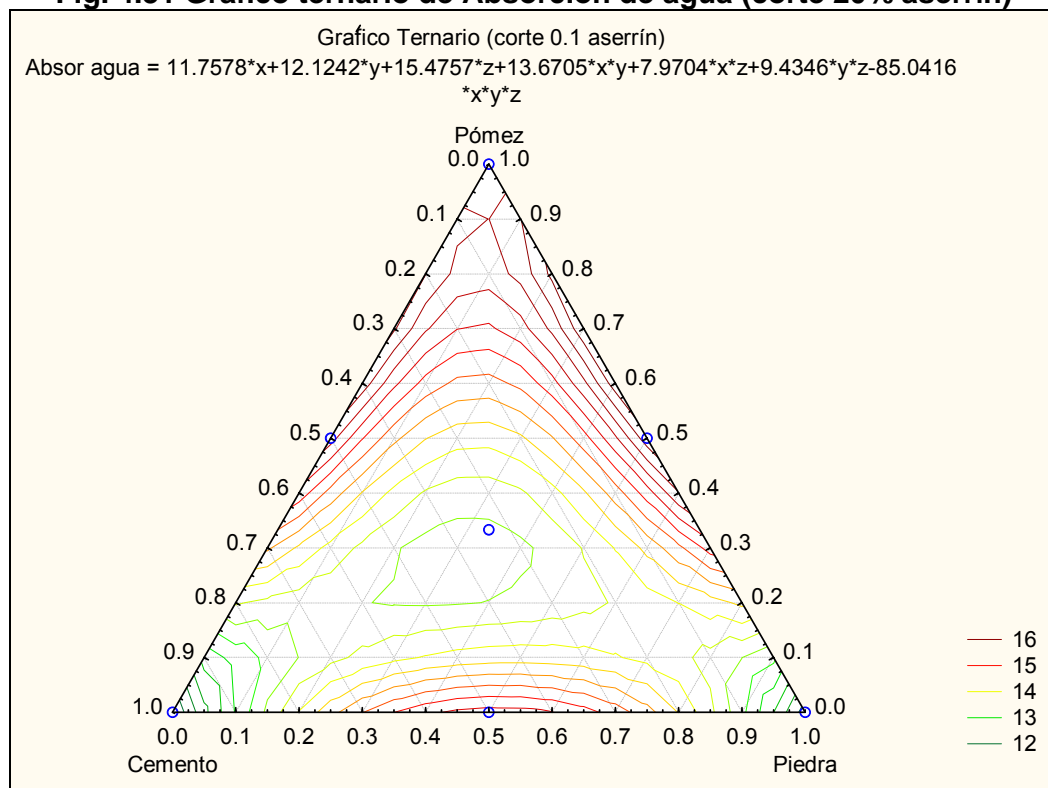


Fig. 4.32 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 10% aserrín)

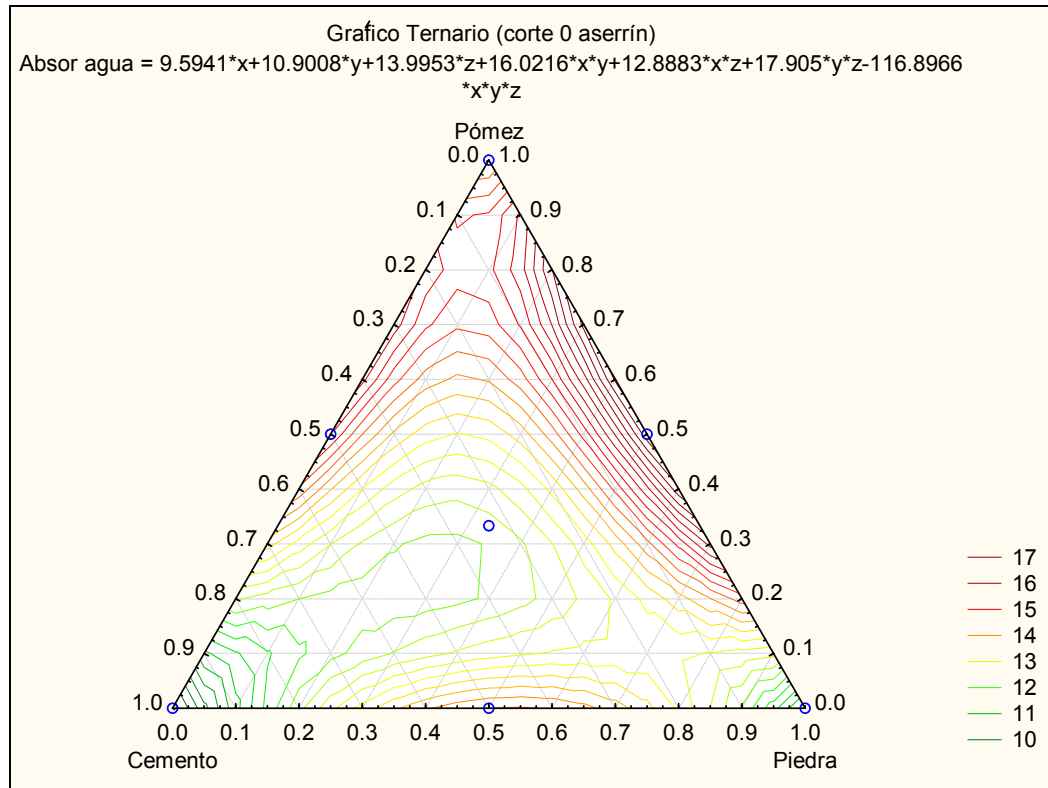


Fig. 4.33 Gráfico ternario de Absorción de agua (corte 0% aserrín)

A continuación se detallan los comportamientos de las mezclas en cada corte de los gráficos ternarios de absorción de agua anteriores.

Corte 90%. Las mezclas con mayor cantidad de pómez absorben ligeramente mayor cantidad de agua que las mezclas de cemento y un 1% más que las mezclas de piedra, pero para este corte, sus porcentajes de absorción son mayores a lo exigido por la norma (15%), por lo tanto, ninguna de estas mezclas es buena.

Corte 80%. En este corte se puede observar que la absorción aumenta su porcentaje a excepción de la premezcla de piedra como componente dominante.

Corte 70%. La absorción de agua continúa aumentando en las mezclas con mayor cantidad de pómez, en las mezclas de cemento se mantienen similares a las del corte anterior y en las mezclas de piedra disminuye dicha absorción.

Corte 60%. Todas las mezclas bajan sus porcentajes de absorción en pequeñas proporciones con respecto a las mezclas del corte anterior, excepto la premezcla de pómez que se mantiene en igual porcentaje.

Corte 50%. Ahora todas las mezclas disminuyen el porcentaje de absorción de agua con respecto a las mezclas del corte anterior.

Corte 40%. En este corte las mezclas se comportan de la misma manera que el corte anterior, es decir; que siguen disminuyendo sus porcentajes de absorción, pero aún siguen siendo mayores a los requeridos para el cumplimiento de la norma en cualquier punto.

Corte 30%. Los porcentajes de absorción de agua continúan en descenso y aparece la primera premezcla con absorción menor a la máxima solicitada que es la de piedra como componente dominante.

Corte 20%. Las premezclas de cemento y piedra solas están por debajo del 15% de absorción, al igual que la combinación entre estas dos y una pequeña cantidad de la premezcla de pómez. Además la mezcla entre las tres premezclas en las mismas proporciones y con pequeñas variaciones entre éstas, también cumplen con el requisito de absorción.

Corte 10%. Los porcentajes de absorción de agua siguen disminuyendo, y continúan siendo las mismas mezclas del corte anterior las únicas que cumplen con la norma. Cabe destacar que la premezcla de cemento llegó a tener menor absorción que la de piedra, o que no ocurría en los cortes anteriores.

Corte 0%. En este corte se puede notar que el porcentaje de absorción con cualquier mezcla es menor al exigido por la norma, a excepción de la mezcla en proporciones similares entre las premezclas de piedra y pómez.

El montaje del tetraedro realizado con las gráficas ternarias de los resultados de los ensayos de absorción de agua se muestra en la Fig. 4.34

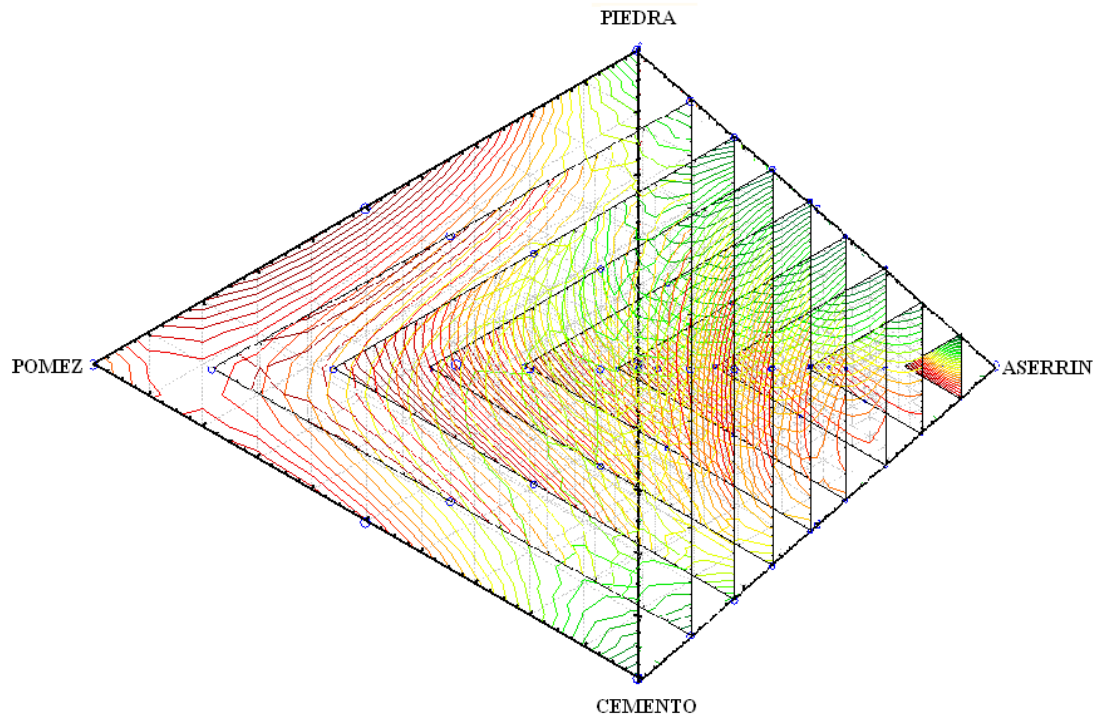


Fig. 4.34 Superficies cortadas en el tetraedro del modelo de absorción de agua

4.1.4 ABSORCIÓN DE RUIDO

Con la ecuación 4.1 y los resultados de los ensayos mostrados en la tabla 4.44, procedemos al tratamiento estadístico de los mismos.

Hay que tomar en cuenta que los resultados de los ensayos expuestos en la tabla mencionada indican el nivel de ruido que traspasó por las paredes de bloques, por lo tanto, mientras menor sea el valor que consta en dicha tabla, la absorción de ruido del bloque es mayor.

TABLA 4.44 Matriz para la determinación de la ecuación polinómica del modelo de Absorción de ruido

Proporciones				Absorción de ruido η
x1	x2	x3	x4	

η_i	1	0	0	0	88,5
η_j	0	1	0	0	86,3
η_k	0	0	1	0	89,4
η_l	0	0	0	1	78,9
η_{ij}	0,5	0,5	0	0	86,2
η_{ik}	0,5	0	0,5	0	89,7
η_{il}	0,5	0	0	0,5	82,9
η_{jk}	0	0,5	0,5	0	87,8
η_{jl}	0	0,5	0	0,5	81,1
η_{kl}	0	0	0,5	0,5	83,7
η_{ijk}	0,3334	0,3334	0,3334	0	88,6
η_{ijl}	0,3334	0,3334	0	0,3334	83,5
η_{ikl}	0,3334	0	0,3334	0,3334	86,5
η_{jkl}	0	0,3334	0,3334	0,3334	84,1
η_{ijkl}	0,25	0,25	0,25	0,25	85,3

la ecuación polinómica para la absorción de ruido es:

$$y(x) = 88,3x_1 + 86,3x_2 + 89,4x_3 + 78,9x_4 - 4,8x_1x_2 + 3x_1x_3 - 3,2x_1x_4 - 0,2x_2x_3 - 0x_2x_4 - 1,8x_3x_4 + 20,4x_1x_2x_3 + 13,2x_1x_2x_4 + 30,3x_1x_3x_4 + 3,3x_2x_3x_4$$

Los coeficientes son los de la tabla 4.45.

TABLA 4.45 Coeficientes de la ecuación polinómica de Absorción de ruido

b1	88,5	b12	-4,8	b123	20,4
b2	86,3	b13	3	b124	13,2
b3	89,4	b14	-3,2	b134	30,3
b4	78,9	b23	-0,2	b234	3,3
		b24	-6		
		b34	-1,8		

Los coeficientes para los planos de corte resultantes se muestran las Tablas 4.46 a 4.55

TABLA 4.46 Absorción de ruido 90% aserrín de ruido 80% de aserrín

TABLA 4.47 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.9)
0,1	0	0	0,9	79,572
0	0,1	0	0,9	79,1
0	0	0,1	0,9	79,788
0,05	0,05	0	0,9	79,353
0,05	0	0,05	0,9	79,755
0	0,05	0,05	0,9	79,450
0,033	0,033	0,033	0,9	79,446

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.8)
0,2	0	0	0,8	80,308
0	0,2	0	0,8	79,42
0	0	0,2	0,8	80,712
0,1	0,1	0	0,8	79,921
0,1	0	0,1	0,8	80,782
0	0,1	0,1	0,8	80,090
0,066	0,066	0,066	0,8	80,310

**TABLA 4.48 Absorción de ruido 70% aserrín
de ruido 60% de aserrín**

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.7)
0,3	0	0	0,7	81,108
0	0,3	0	0,7	79,86
0	0	0,3	0,7	81,672
0,15	0,15	0	0,7	80,583
0,15	0	0,15	0,7	81,934
0	0,15	0,15	0,7	80,813
0,1	0,1	0,1	0,7	81,208

TABLA 4.49 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.6)
0,4	0	0	0,6	81,972
0	0,4	0	0,6	80,42
0	0	0,4	0,6	82,668
0,2	0,2	0	0,6	81,320
0,2	0	0,2	0,6	83,167
0	0,2	0,2	0,6	81,615
0,133	0,133	0,133	0,6	82,198

**TABLA 4.50 Absorción de ruido 50% aserrín
de ruido 40% de aserrín**

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.5)
0,5	0	0	0,5	82,9
0	0,5	0	0,5	81,1
0	0	0,5	0,5	83,7
0,25	0,25	0	0,5	82,112
0,25	0	0,25	0,5	84,434
0	0,25	0,25	0,5	82,490
0,166	0,166	0,166	0,5	83,255

TABLA 4.51 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.4)
0,6	0	0	0,4	83,892
0	0,6	0	0,4	81,9
0	0	0,6	0,4	84,768
0,3	0,3	0	0,4	82,939
0,3	0	0,3	0,4	85,690
0	0,3	0,3	0,4	83,434
0,2	0,2	0,2	0,4	84,352

**TABLA 4.52 Absorción de ruido 30% aserrín
de ruido 20% de aserrín**

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.3)
0,7	0	0	0,3	84,948
0	0,7	0	0,3	82,82
0	0	0,7	0,3	85,872
0,35	0,35	0	0,3	83,781
0,35	0	0,35	0,3	86,891
0	0,35	0,35	0,3	84,442
0,233	0,233	0,233	0,3	85,461

TABLA 4.53 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.2)
0,8	0	0	0,2	86,068
0	0,8	0	0,2	83,86
0	0	0,8	0,2	87,012
0,4	0,4	0	0,2	84,618
0,4	0	0,4	0,2	87,989
0	0,4	0,4	0,2	85,509
0,266	0,266	0,266	0,2	86,556

**TABLA 4.54 Absorción de ruido 10% aserrín
de ruido 0% de aserrín**

TABLA 4.55 Absorción

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0.1)
0,9	0	0	0,1	87,252
0	0,9	0	0,1	85,02
0	0	0,9	0,1	88,188
0,45	0,45	0	0,1	85,431
0,45	0	0,45	0,1	88,941
0	0,45	0,45	0,1	86,630
0,3	0,3	0,3	0,1	87,612

x1	x2	x3	x4	Absorción calculada (0)
1	0	0	0	88,5
0	1	0	0	86,3
0	0	1	0	89,4
0,5	0,5	0	0	86,2
0,5	0	0,5	0	89,7
0	0,5	0,5	0	87,8
0,333	0,333	0,333	0	88,51

Los gráficos correspondientes se muestran en las Figs.4.35 a 4.44

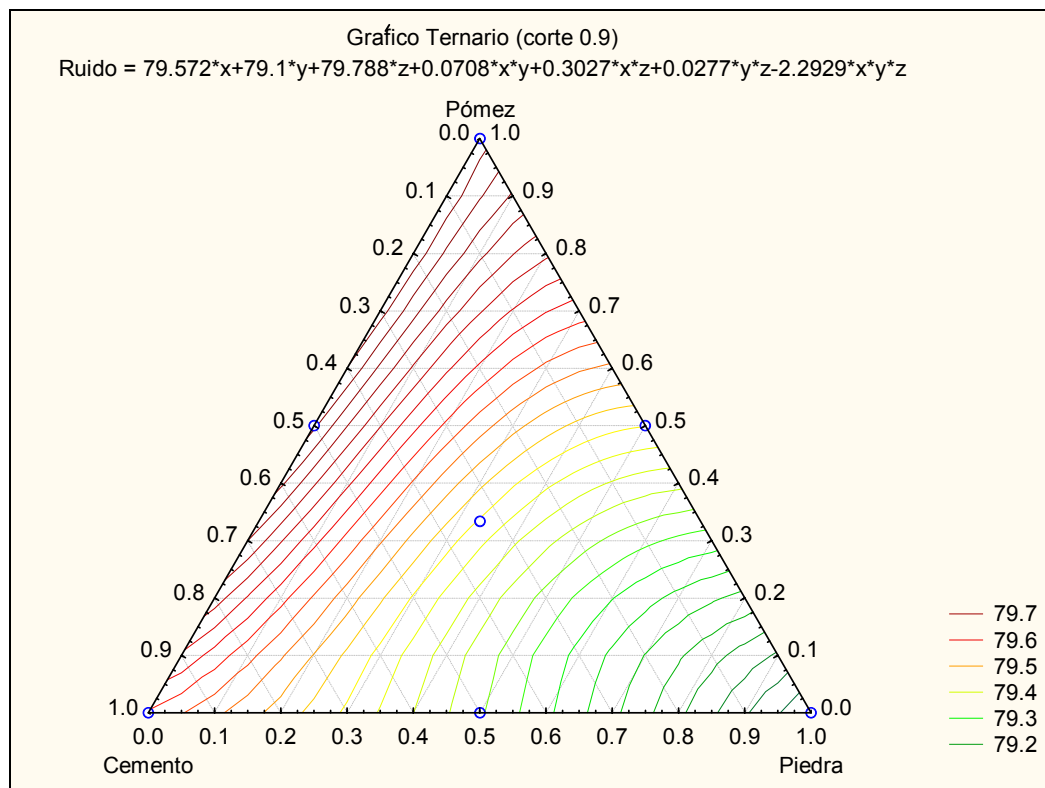


Fig. 4.35 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 90% aserrín)

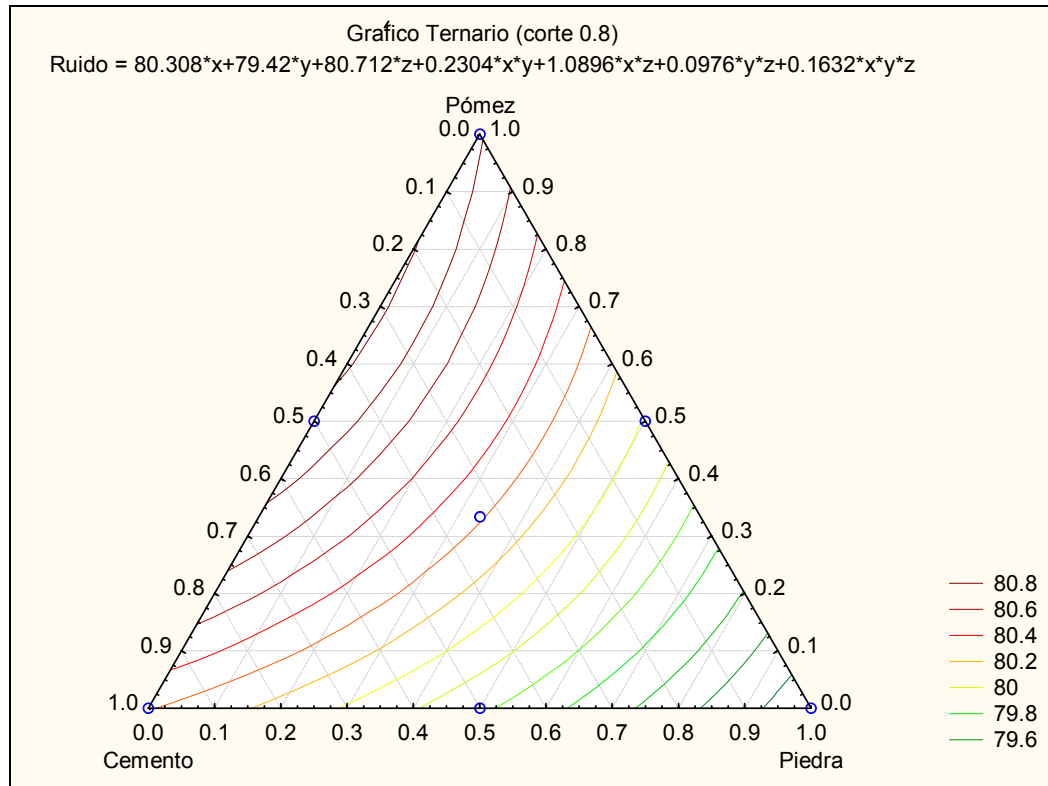


Fig. 4.36 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 80% aserrín)

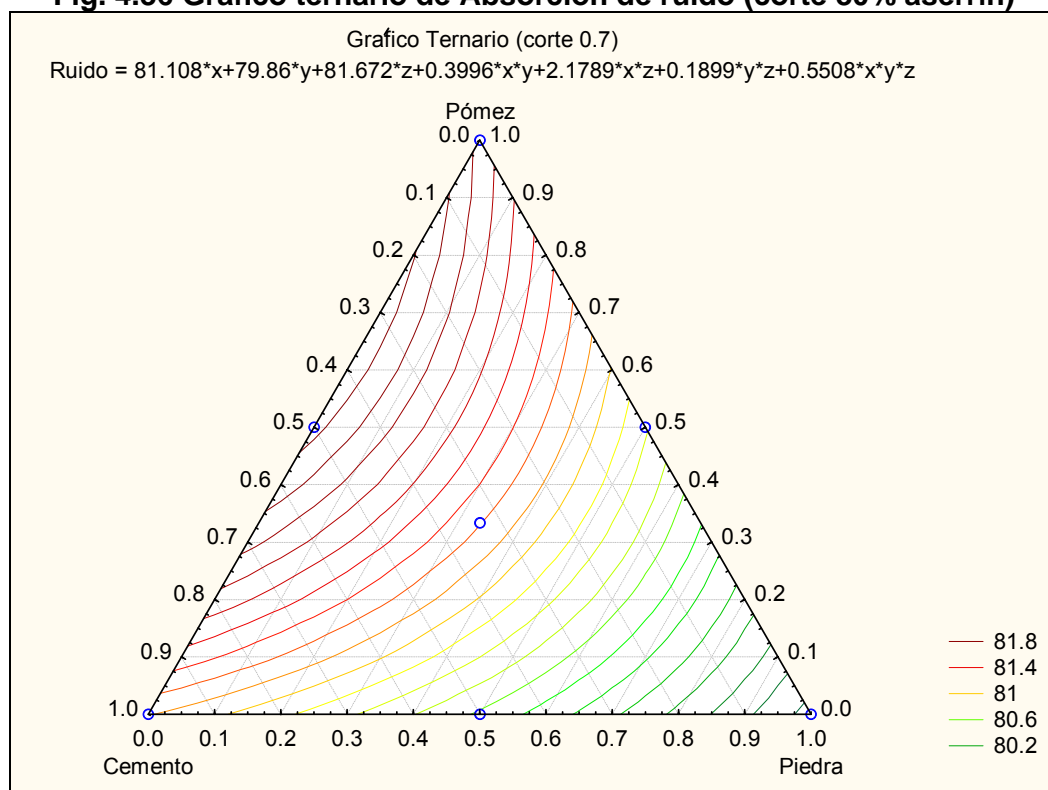


Fig. 4.37 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 70% aserrín)

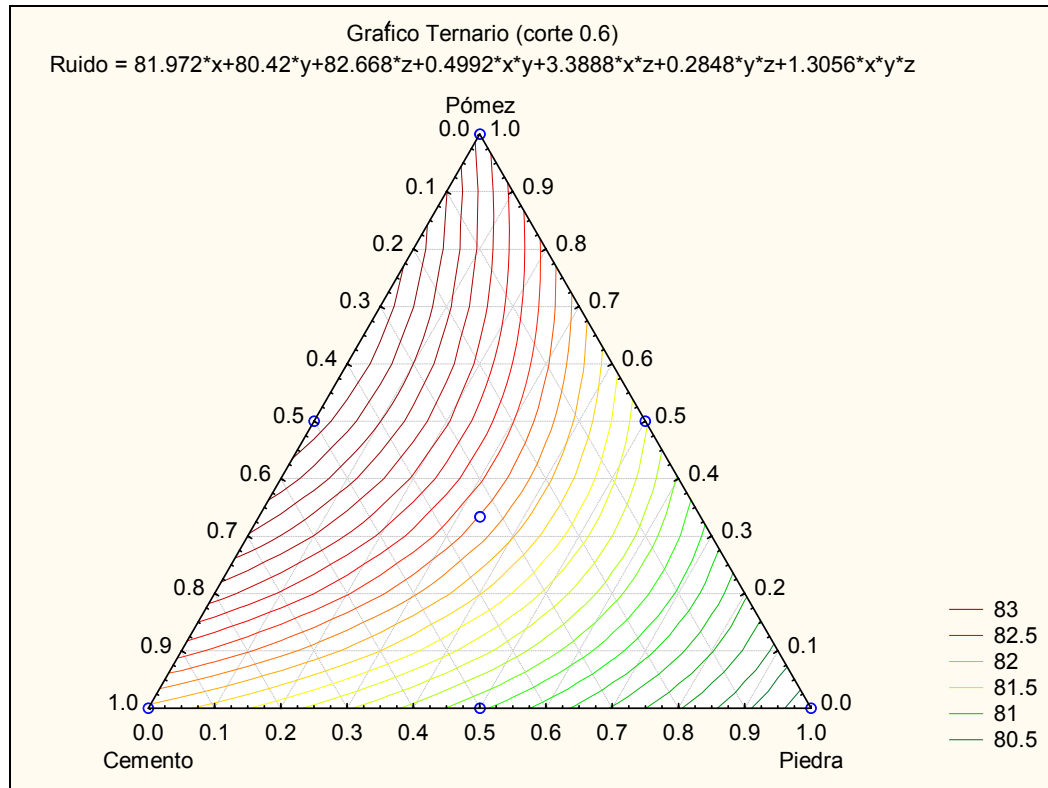


Fig. 4.38 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 60% aserrín)

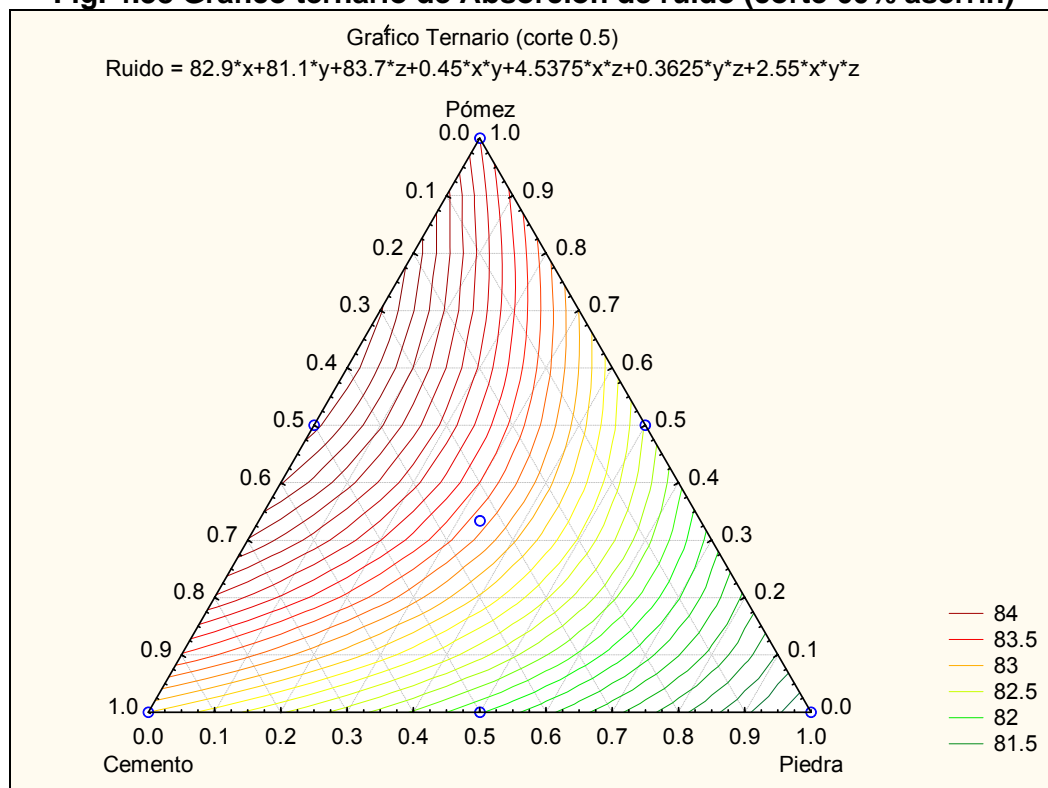


Fig. 4.39 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 50% aserrín)

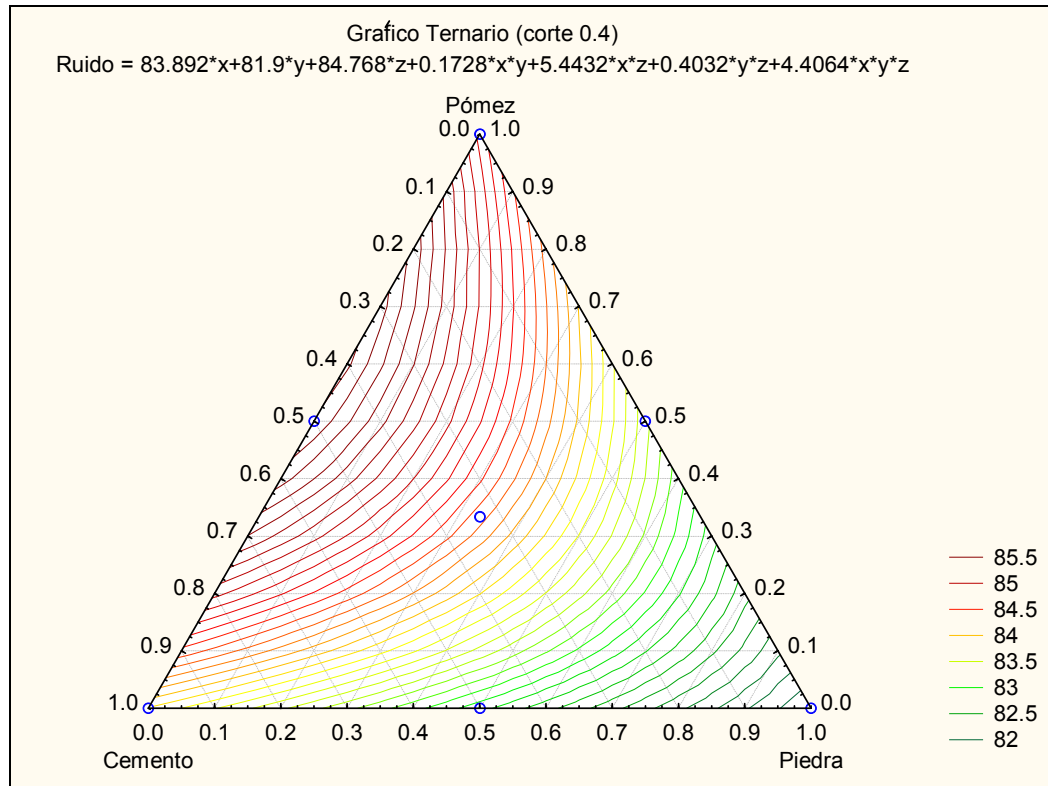


Fig. 440 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 40% aserrín)

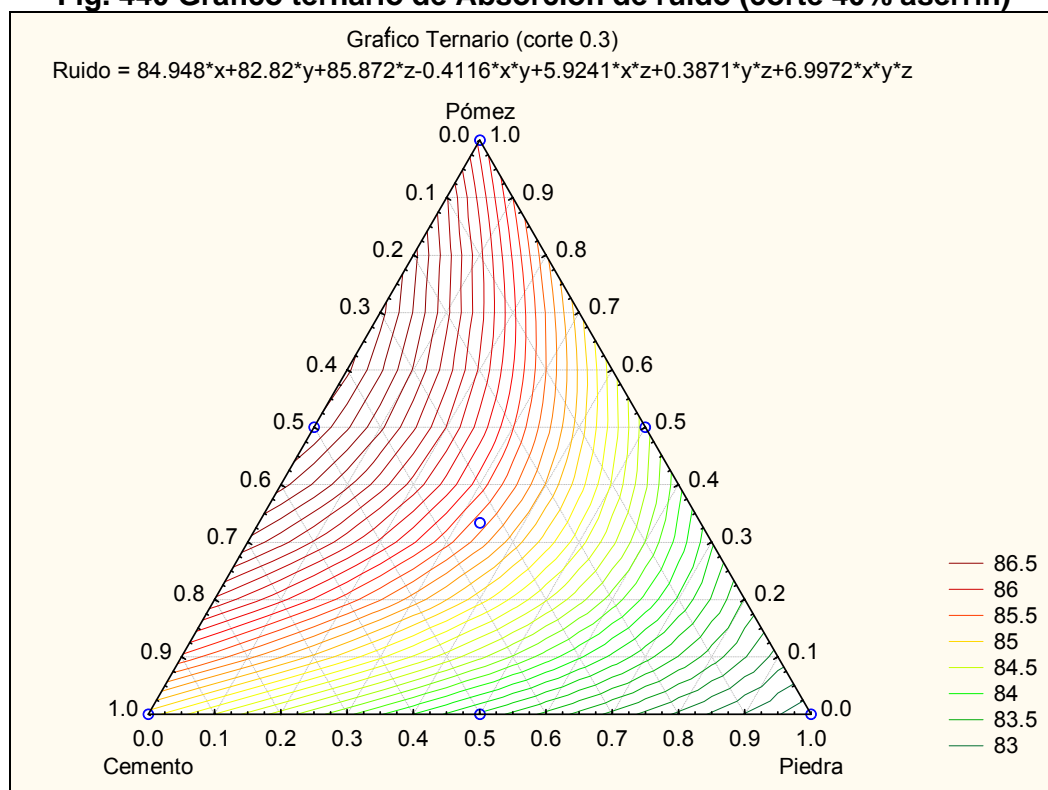


Fig. 4.41 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 30% aserrín)

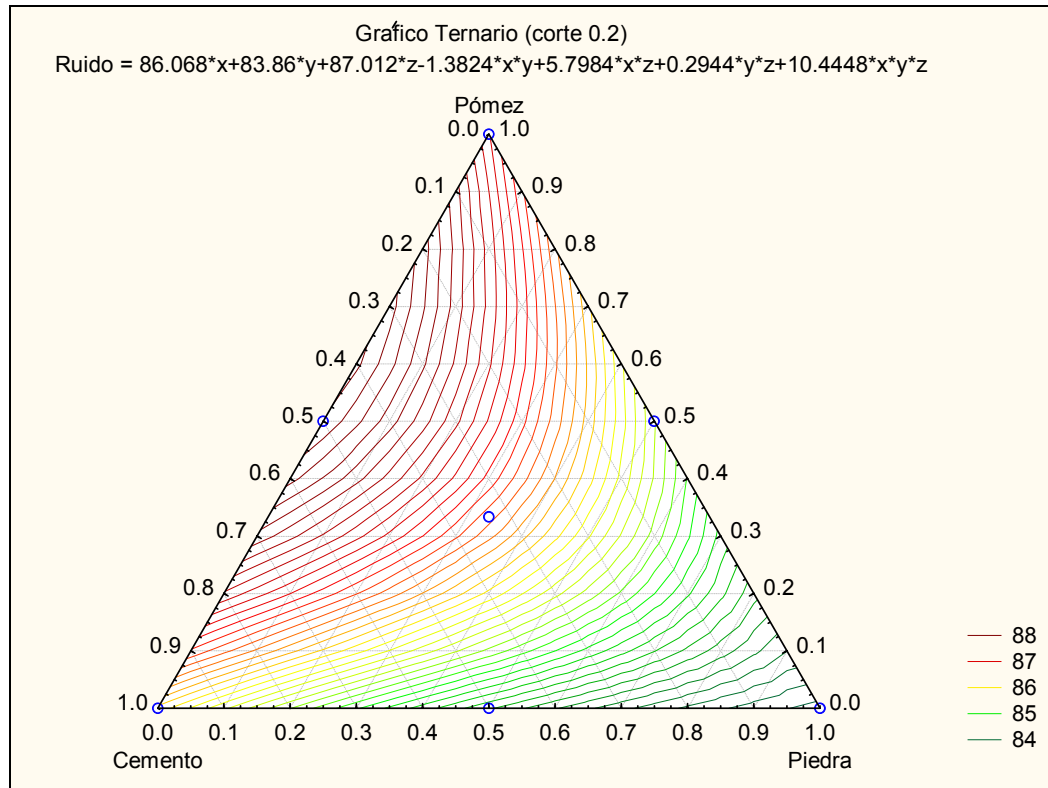


Fig. 4.42 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 20% aserrín)

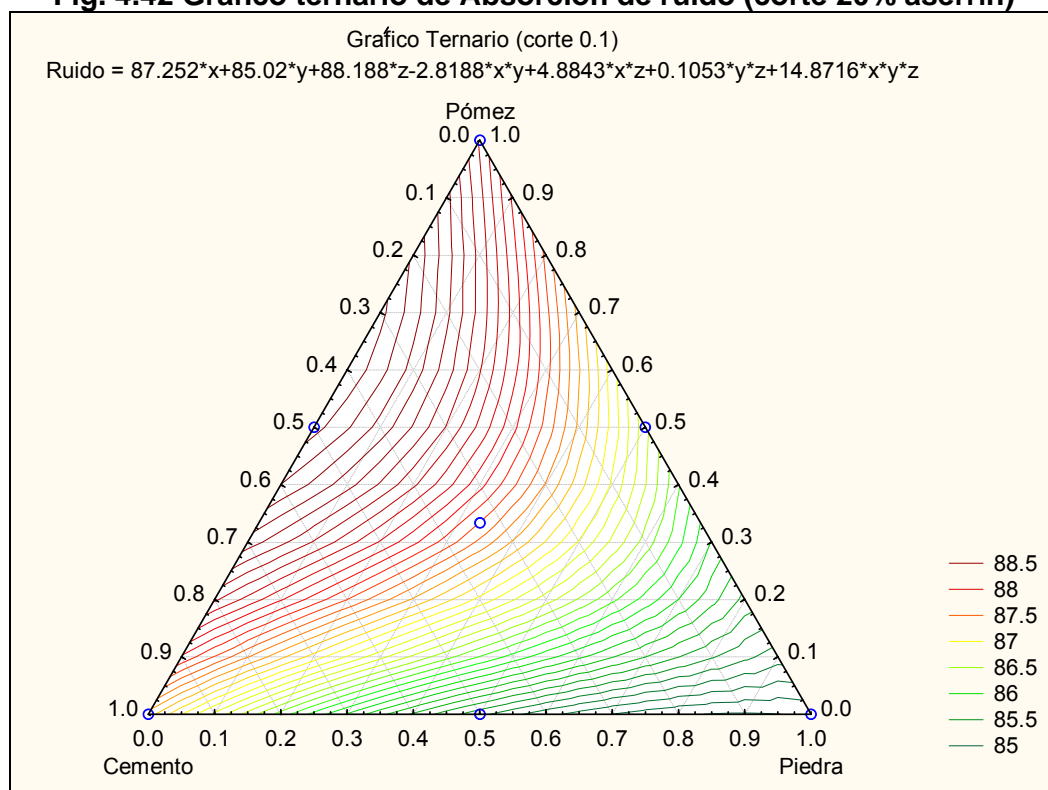


Fig. 4.43 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 10% aserrín)

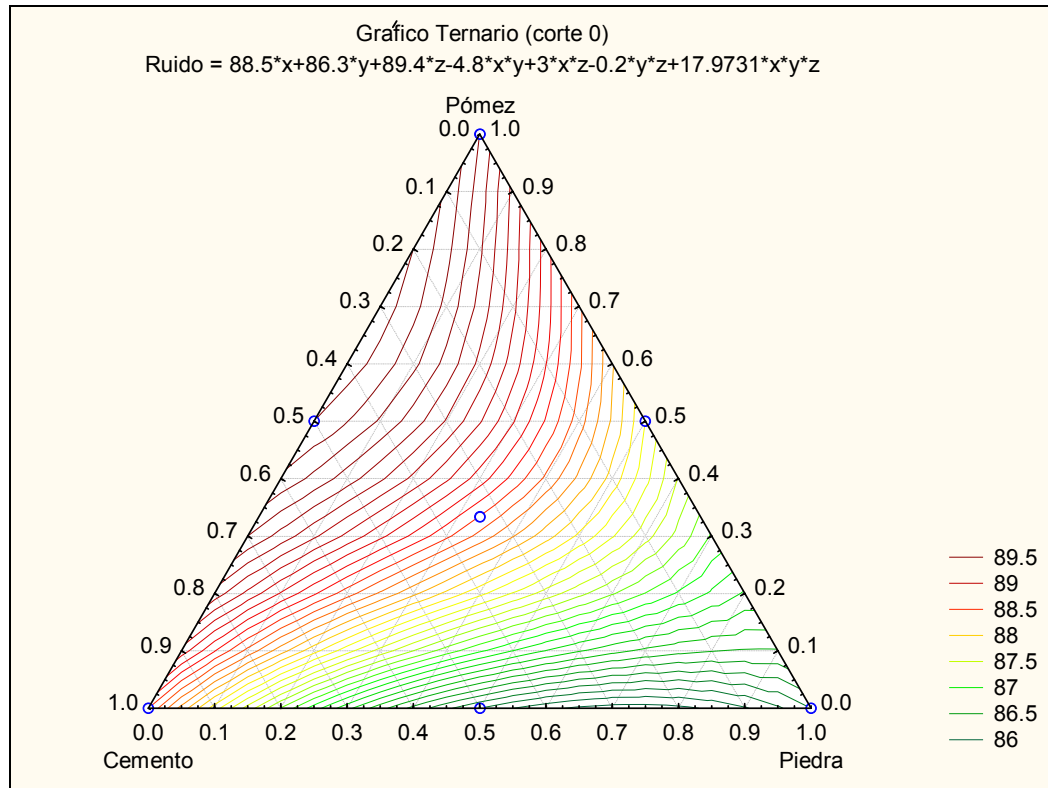


Fig. 4.44 Gráfico ternario de Absorción de ruido (corte 0% aserrín)

En general, lo que se puede notar en todos los cortes del tetraedro de absorción de ruido es que la cantidad de aserrín en las mezclas es inversamente proporcional al paso del ruido por las paredes de las diferentes mezclas, es decir; en todos los casos, sin excepción, aumenta el paso de ruido cuando disminuye la cantidad de aserrín en las mezclas.

En todos los cortes el comportamiento de los materiales es el mismo, mayor paso de ruido mientras mayor sea el contenido de pómez, mejor absorción que éste son las mezclas de cemento, aunque sus resultados no sean los más anhelados. Pero la mejor absorción de ruido frente a los dos materiales anteriores la tiene la piedra, con 79.1 dB cuando la mezcla de aserrín como componente dominante es de 90%, y las mayores o peores absorciones de ruido las tienen la premezcla sola de pómez con 89.4dB y la mezcla de cemento y pómez con 89.7 dB cuando no contienen la premezcla de aserrín como componente dominante.

El montaje de las Figs. 4.35 a 4.44 para absorción de ruido se presenta en el gráfico 4.45.

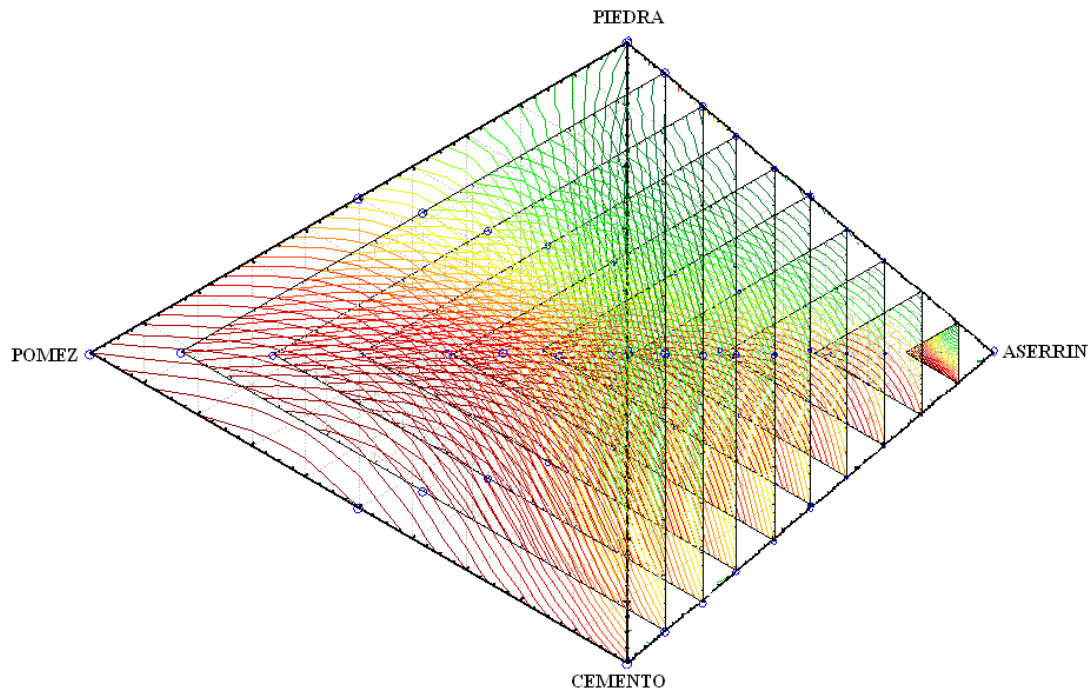


Fig. 4.45 Superficies cortadas en el tetraedro del modelo de absorción de ruido

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 4.56 se muestran las proporciones de los componentes de las premezclas con sus dominantes y los resultados de los diferentes ensayos, los cuales nos orientan para determinar la mezcla idónea para la construcción de los bloques optimizando los componentes y al amparo de los requerimientos de la Norma.

TABLA 4.56 Proporciones y requerimientos

Proporciones				Resistencia Compresión (MPa)	Retracci ón (%)	Absorció n de agua (%)	Absorción de ruido (dB)
x1	x2	x3	x4				
1	0	0	0	7,3	0,130	9,594	88,5
0	1	0	0	2,9	0,107	10,900	86,3
0	0	1	0	2,7	0,120	13,995	89,4
0	0	0	1	1,4	0,115	17,668	78,9
0,5	0,5	0	0	4,4	0,165	14,252	86,2
0,5	0	0,5	0	2,6	0,122	15,016	89,7

0,5	0	0	0,5	4,2	0,138	17,398	82,9
0	0,5	0,5	0	3,3	0,109	16,924	87,8
0	0,5	0	0,5	2,5	0,119	15,803	81,1
0	0	0,5	0,5	2,1	0,143	18,923	83,7
0,333 4	0,333 4	0,333 4	0	4,2	0,135	12,377	88,6
0,333 4	0,333 4	0	0,333 4	3,4	0,147	17,167	83,5
0,333 4	0	0,333 4	0,333 4	4,4	0,143	17,104	86,5
0	0,333 4	0,333 4	0,333 4	3,4	0,138	15,909	84,1
0,25	0,25	0,25	0,25	3,7	0,160	13,338	85,3

Para ponderar los resultados de los ensayos y determinar cuáles mezclas son más convenientes, se normalizan dichos resultados, es decir, se les da una jerarquía asignando a la mayor resistencia el valor de uno (1), a la menor el valor de cero (0) y a las demás resistencias un valor intermedio proporcional a los extremos. En el caso de absorción de ruido es todo lo contrario, es decir, a la mezcla con mayor permeabilidad se le asigna el valor de cero (0), a la mezcla con menor permeabilidad el valor de uno (1) y a las demás mezclas valores proporcionales a los extremos, como se puede observar en la Tabla 4.57.

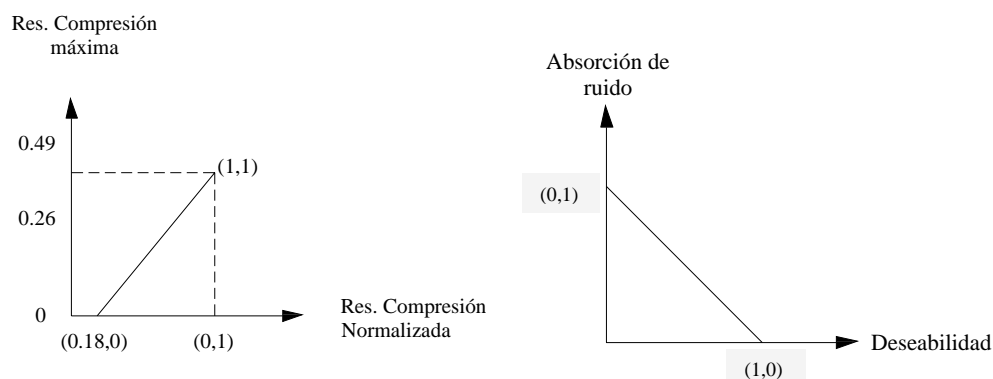
Tabla 4.57 Propiedades normalizadas

Resistencia compresión MPa	Resistencia compresión Normalizada	Absorción de ruido dB	Absorción de ruido Normalizado
7,3	1	88,5	0,888
2,9	0,254	86,3	0,685
2,7	0,220	89,4	0,972
1,4	0	78,9	0
4,4	0,508	86,2	0,675
2,6	0,203	89,7	1
4,2	0,474	82,9	0,370
3,3	0,322	87,8	0,824
2,5	0,186	81,1	0,203
2,1	0,118	83,7	0,444
4,2	0,474	88,6	0,898
3,4	0,338	83,5	0,425
4,4	0,508	86,5	0,703
3,4	0,338	84,1	0,481
3,7	0,389	85,3	0,592

El siguiente paso del análisis es optimizar los resultados con una función de deseabilidad, esta función es una media geométrica que refleja los intervalos deseados para cada respuesta, su valor va desde 0 hasta 1, o sea de menos a más deseable respectivamente. Si ninguna de las respuestas cae dentro del intervalo deseado la función adopta el valor de cero. Para las optimizaciones simultáneas cada respuesta debe tener un valor mínimo y máximo, los cuales definirán el intervalo donde se evaluarán los resultados de la optimización. El uso de esta función permite llegar a soluciones de compromiso donde las variables incompatibles adopten entre ellas valores que se adecuen al mejor funcionamiento del sistema.

Para el caso de la resistencia a la compresión consiste en sacar la pendiente entre cuatro puntos conocidos como se muestra en la Figura 4.46 (a), en donde el valor 0.18 corresponde a la resistencia a la compresión normalizada para una resistencia a la compresión medida de 2.5 MPa (valor mínimo que exige la Norma), y la pendiente resultante es igual a 1.22. La función de deseabilidad resulta de la condición que si la resistencia a la compresión normalizada es mayor o igual al valor 1.18 que se vio anteriormente, entonces dicha deseabilidad es igual a la pendiente por la resistencia a la compresión normalizada, caso contrario es igual a cero; es decir, la deseabilidad de cada mezcla está dentro de la recta (Fig. 4.46a).

Para la función de deseabilidad de la retracción por secado, se da la condición que si la retracción medida es mayor a 1.25 % (valor máximo que exige la norma), la deseabilidad es cero, es decir no cumple con el requerimiento de retracción por secado, caso contrario es igual a uno (1), en este caso si cumple dicho requerimiento (Fig.4.46c).



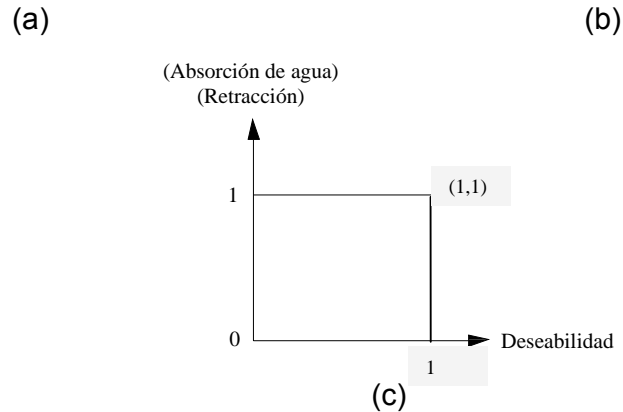


Fig. 4.46 Gráficas de deseabilidad

De igual manera, para la función de deseabilidad de absorción de agua, la condición es que si la absorción de agua medida en los bloques es mayor que 15 % (valor máximo que exige la norma), la deseabilidad es cero, es decir que no cumple con esta condición, de ser menor a este valor, la deseabilidad es uno (1) y por lo tanto cumple con la condición (Fig. 4.46c). Y la función de deseabilidad total es igual a la media geométrica de los tres casos que exige la norma. A continuación se muestran los valores de las funciones de deseabilidad para cada caso.

En la Tabla 4.58 se puede ver en la deseabilidad total que sólo seis muestras cumplen con los tres requisitos exigidos por la norma, y en la Tabla 4.59 se ve la deseabilidad en orden descendente.

TABLA 4.58 Funciones de deseabilidad (requerimientos Norma INEN)

Muestra	Función deseabilidad Resist.Compresión	Función deseabilidad Retracción	Función deseabilidad Absorción agua	FUNCION DESEABILIDAD TOTAL
1	1	1	1	1
2	0,090	1	1	0,449
3	0,049	1	1	0,366
4	0	1	0	0
5	0,400	1	1	0,737
6	0,028	1	0	0
7	0,359	1	0	0
8	0,173	1	0	0
9	0,007	1	0	0

10	0	1	0	0
11	0,359	1	1	0,710
12	0,193	1	0	0
13	0,400	1	0	0
14	0,193	1	0	0
15	0,255	1	1	0,634

TABLA 4.59

Muestra	Deseabilidad
1	1
5	0,737
11	0,710
15	0,634
2	0,449
3	0,366

TABLA 4.60

Muestra	Deseabilidad
5	0,600
1	0,577
15	0,568
11	0,437
2	0,410
3	0,192

Para el caso de la permeabilidad del ruido, no es un requisito de la norma, por lo que al ser un valor agregado a los bloques la deseabilidad se tomará como uno (1) a la más permeable y cero (0) a la menor, el resto de valores se desplazaron en la recta (Fig. 4.46b), es decir, que mientras mayor sea el nivel de ruido medido, menor el la deseabilidad, y viceversa. En la Tabla 4.60 se pueden ver cómo cambia el orden de deseabilidad de las muestras al adicionar la deseabilidad de absorción del ruido. En el caso de la muestra 1 que tiene las mejores propiedades mecánicas, tuvo una disminución considerable de la deseabilidad al combinarse con la deseabilidad de absorción de ruido ya que sus propiedades acústicas son menores a otras mezclas, de la misma manera sucede con las otras muestras.

4.3 ANÁLISIS DE COSTOS

El cálculo del costo de cada bloque se realizó tomando en cuenta las proporciones de materiales utilizados en las mezclas especificadas en la Tabla 2.6.

Los costos por unidad de los materiales (por cada lote elaborado) se presentan en la Tabla 4.61.

TABLA 4.61 Costos unitarios de materiales (en USD)

Cemento	Polvo piedra	Polvo pómez	Aserrín
0,877	0,099	0,077	0

Normalmente en las bloqueras se calculan los costos de servicios básicos, amortización de maquinaria, mano de obra directa, mano de obra indirecta y cargas como seguros, arriendos, impuestos, etc. con un valor fijo por cada saco de cemento utilizado, estos rubros en dólares se muestran en la Tabla 4.62. Aunque el aserrín no tiene costo, se ha puesto un valor de mano de obra por manipulación (tamizado) para separar desechos demasiado grandes y el polvo. El costo total fue calculado para ocho bloques, por lo que en la última columna consta el costo de un bloque.

TABLA 4.62 Costos de los bloques (USD)

Nº muestra	Cemento	Polvo piedra	Polvo pómez	Aserrín	Material	Servicios básicos	Maquinaria	Mano obra directa	Mano obra indirecta	Cargas	Costo total (8 bloques)	Costo x bloque
1	4,66	0,44	0,34	0,05	5,45	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	6,37	0,80
2	1,55	0,71	0,34	0,05	2,61	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,53	0,44
3	0,78	0,62	0,55	0,05	1,95	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	2,87	0,36
4	1,55	0,44	0,34	0,05	2,34	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,27	0,41
5	3,11	0,58	0,34	0,05	4,03	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,95	0,62
6	2,72	0,53	0,45	0,05	3,70	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,62	0,58
7	3,11	0,44	0,34	0,05	3,89	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,82	0,60
8	1,16	0,66	0,45	0,05	2,28	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,20	0,40
9	1,55	0,58	0,34	0,05	2,47	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,40	0,42
10	1,16	0,53	0,45	0,05	2,14	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,07	0,38
11	2,33	0,59	0,41	0,05	3,33	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,26	0,53
12	2,59	0,53	0,34	0,05	3,46	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,39	0,55
13	2,33	0,50	0,41	0,05	3,25	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,17	0,52
14	1,29	0,59	0,41	0,05	2,30	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	3,22	0,40
15	2,14	0,55	0,40	0,05	3,08	0,15	0,15	0,42	0,15	0,01	4,01	0,50

El costo de un bloque es de gran importancia para poder competir no solo con calidad sino también con precios. En el mercado se ofertan los bloques de concreto a un costo de 0.48 USD, por lo que a los requerimientos de las normas, es necesario añadir una función de deseabilidad del costo de los bloques, para esto se usa el condicional: si el costo calculado es mayor a 0.48, la función de deseabilidad es cero, es decir; no cumple con el requerimiento de costo, caso contrario la función de deseabilidad es uno (1), por lo tanto si cumple con este requerimiento.

TABLA 4.63 Función deseabilidad

Nº	Función deseabilidad R. Compresión	Función deseabilidad Retracción	Función deseabilidad Absorción agua	Función deseabilidad Absorción ruido	Función deseabilidad Costo	FUNCION DESEABILIDAD TOTAL
1	1	1	1	0,111	0	0
2	0,090	1	1	0,314	1	0,490
3	0,049	1	1	0,027	1	0,267
4	0	1	0	1	1	0
5	0,400	1	1	0,324	0	0
6	0,028	1	0	0	0	0
7	0,359	1	0	0,629	0	0
8	0,173	1	0	0,175	1	0
9	0,007	1	0	0,796	1	0
10	0	1	0	0,555	1	0
11	0,359	1	1	0,101	0	0
12	0,193	1	0	0,574	0	0
13	0,400	1	0	0,296	0	0
14	0,193	1	0	0,518	1	0
15	0,255	1	1	0,407	0	0

En resumen, las proporciones, propiedades y costo de las dos muestras que cumplen con todos los requerimientos se pueden ver en la Tabla 4.64.

TABLA 4.64 Propiedades de los bloques que cumplen con todos los requerimientos.

Nº	Componentes				Resistencia Compresión (MPa)	Retracción (%)	Absorción de agua (%)	Absorción de ruido (dB)	Costo (USD)
	Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín					
2	2	8	5	3	2,9	0,107	10,900	86,3	0,44
3	1	7	8	1	2,7	0,120	13,995	89,4	0,36

CONCLUSIONES

Autor: Carlos Sánchez Alvarracín



Luego del análisis de resultados podemos hacer algunas conclusiones puntuales de este trabajo investigativo.

La sustitución de madera por una parte de los componentes usados en la elaboración de bloques hace que estos disminuyan su peso ya que la densidad de la madera es menor que cualquiera de los otros componentes, como se puede ver en la Tabla 1.4.

En general, en los diez cortes hechos al tetraedro, se puede observar que a medida que va disminuyendo el porcentaje de aserrín, va aumentando la resistencia a la compresión con cualquier porcentaje de los otros componentes. En todos los casos, la mayor resistencia a la compresión se encuentra donde mayor es la cantidad de cemento, así mismo el polvo de pómez disminuye la resistencia en mayor cantidad que el polvo de piedra, e incluso que la misma madera, esto se debe a su porosidad.

A mayor cantidad de cemento en una mezcla, mayor es la retracción y, a mayor cantidad de piedra menor es la retracción. La razón de esta relación es que las piedras no absorben agua y por lo tanto al secarse mantienen sus dimensiones, lo que no ocurre con el cemento.

A menor cantidad de aserrín, menor retracción, aunque es menor que la retracción del cemento y pómez debido a que en la madera existe menor porosidad que en la piedra pómez.

Para la absorción de agua, el aserrín juega un papel preponderante, es decir que este compuesto tiene una gran capacidad de absorber agua, razón por la cual gran parte de las mezclas no cumplieron con las condiciones de deseabilidad. No obstante, mayor porcentaje de absorción de agua se da en la premezcla de pómez como compuesto dominante, ya que en ninguna parte del tetraedro cumple con la absorción mínima establecida como premezcla sola, excepto cuando no existe combinación con la premezcla de aserrín como componente dominante. Mientras que los mejores resultados se dan en las mezclas de piedra y mucho mejores en las mezclas de cemento, siempre y cuando este último se encuentre en mayores cantidades que los otros componentes.

Así mismo, la adición de madera en las mezclas, sin duda, ayuda al aislamiento acústico, esto ha sido demostrado ampliamente en el análisis y se muestra en las Figs. 4.35 a 4.44.

Respecto a las funciones de deseabilidad y la deseabilidad total, se constata que únicamente hay dos mezclas que cumplen con todos los requerimientos planteados. Estos son las muestras 2 y 3 designadas en la tabla 4.63.

La deseabilidad de la muestra 2 es mayor a la deseabilidad de la 3, esto se debe a que la mezcla 2 tiene mayor cantidad de cemento y piedra que la 3, por lo tanto la resistencia a la compresión es mayor. La retracción menor de la muestra 2 debido al mayor porcentaje de piedra hace que la deseabilidad de este muestra sea mayor que de la 3. El mayor porcentaje de piedra y menor de pómez en la muestra 2, hace que la absorción sea menor que de la 3, y por lo tanto la deseabilidad mayor. De igual manera, la mayor cantidad de aserrín y piedra en la muestra 2 que en el 3 da un mayor aislamiento acústico y en consecuencia una mayor deseabilidad.

Por todas estas razones, se determinó que la muestra 2 es mejor en calidad que la 3, pero su costo es mayor, sin embargo, está por debajo del precio de mercado. A estas muestras se las pudiera clasificar en “Bloques Tipo A” y “Bloques Tipo B” respectivamente.

Se podría pensar en una mezcla entre las dos premezclas optimizadas, pero en la Tabla 4.20 fila 8 ya existe esta mezcla, y en la Tabla 4.63 se ve que su deseabilidad es cero, por lo tanto ninguna mezcla de cualquier proporción entre estas dos premezclas es mejor que estas, como se representa en la Fig.5.1.

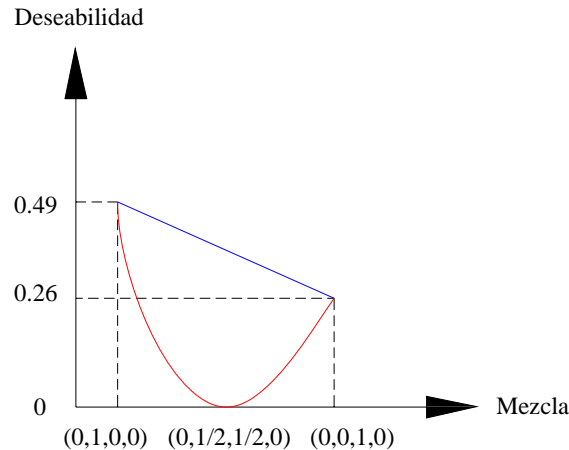


Fig. 5.1 Gráfica de deseabilidad (muestras 2 y 3)

Además se realizaron ensayos de compresión a bloques de concreto comprados en dos fábricas diferentes de la ciudad y los resultados fueron de 1 MPa para los bloques de la una fábrica (ANEXO 1P) y de 1.4 MPa para los bloques de la otra fábrica (ANEXO 1Q). Estos resultados están por debajo de lo que exige la norma, por lo que se concluye que los bloques de conglomerado madera - cemento, son mucho más confiables, por lo tanto es factible realizar bloques con este nuevo componente.

En consecuencia, se determinó que el aserrín utilizado es compatible con el cemento Pórtland y que puede ser implementada en la tecnología de producción de bloques para la construcción, permitiendo el desarrollo de un producto competitivo, funcional y de menor costo.

El costo de un producto es también un factor determinante en el mercado. Al ofrecer un bloque de menor costo, con características técnicas garantizadas, se ofrece también una ventaja competitiva para la industria bloquera que busca opciones de innovación y de precios acordes a la economía popular de nuestra sociedad.

Un aporte importante de esta propuesta está en relación directa con el cuidado del medio ambiente; pues, al aprovechar los desperdicios de aserríos y darles un uso apropiado, se crea una alternativa para el manejo de estos recursos reciclables



que, en nuestro medio, es muy común sean desechados por incineración e incluso arrojados a los ríos o en sectores fuera de la ciudad.

RECOMENDACIONES

Dado que con el diseño experimental obtenido del presente estudio investigativo se consiguieron resultados positivos, es menester hacer algunas recomendaciones encaminadas a la práctica de los resultados alcanzados.

Una primera recomendación se dirige a los miembros de la industria del bloque prefabricado, a ver en esta una opción válida con el fin de dar un valor agregado a sus productos, esto es, abaratar el costo final del bloque y hacerlo más accesible a la población del sector popular.

Para el sector de académico e investigadores técnicos, interesados en este tema, se podría recomendar nuevas investigaciones o experimentos utilizando otros componentes alternativos. Hoy se habla mucho de reutilizar los materiales de desecho como son los desechos plásticos, ceniza, etc., siempre encaminados a aportar con innovaciones como disminuir peso a los bloques y dar nuevas características como el aislamiento acústico y térmico.

Al sector político y a quienes tienen en sus manos la decisión para apoyar e incentivar a los emprendimientos e innovaciones tecnológicas que verdaderamente aporten a dar solución a necesidades que el país tiene en el campo de la construcción de la vivienda.



BIBLIOGRAFÍA

1. Coma Baulenas Pedro. Prontuario de la madera. Editorial Gustavo Gili, S. A. España 1969.
2. Cornell, John A. Experiments with Mixtures. Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. University of Florida. Second Edition. USA. 1990.
3. Escuela mexicana de arquitectura. Materiales y procedimientos de construcción Tomo II. Editorial Diana. Primera edición. México 1979.
4. Feodosiev, V. I. Resistencia de materiales. Tercera edición. Editorial MIR. Moscú. 1985.
5. Keyser Carl A. Ciencia de materiales para ingeniería. Editorial Limusa. Primera edición. México 1990.
6. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 152. Cemento portland. Requisitos. 2005.
7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638. Bloques huecos de hormigón. Definiciones, clasificación y condiciones generales. 1993.
8. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 639. Bloques huecos de hormigón. Muestreo, inspección y recepción. 1993.
9. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión. 1993.
10. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 641. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la retracción por secado. 1981
11. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 642. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la absorción de agua. 1993.
12. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 643. Bloques huecos de hormigón. Requisitos. 1993.
13. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos. 1982.
14. Smith William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 1998.
15. Tripaldi, Piercósimo. Módulo "Diseño experimental y optimización de procesos". MGT III Edición. 2008.
16. Varios autores. Enciclopedia Autodidáctica Océano. Emege, Industrias Gráficas S.A. España 1989.



Páginas Web consultadas

1. Bloques de madera conglomerada. Recuperado el 10/04/2009, de www.CTAV-Icaro-Materiales
2. Bloque súper aislante. Recuperado el 10/04/2009, de www.Fixolite Bloque superaislante.htm
3. Análisis de calidad del hormigón, madera y bloques. Recuperado el 17/05/2009, de www.hormigón.hmt.htm
4. Bio concreto. Recuperado el 16/04/2009, de www.fao.org
5. Biobloque. Recuperado el 10/04/2009, de www.Bioblok.htm
6. www.Madera-Wikipedia, la enciclopedia libre.htm Recuperado el 13/04/2009
7. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri542.htm>
Recuperado el 04/07/2009
8. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri543.htm>
recuperado el 04/07/2009
9. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri54.htm>
recuperado el 04/07/2009)



ANEXOS



ANEXO 1A



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071505		
Lote:		Colada:	
Material:	Concreto	tem:	
Certificado:	01		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	438 [kN]		
Rm:	7.3 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1B



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071512		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	02		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	177 [kN]		
Rm:	2.9 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1C



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071514		
Lote:		Colada:	
Material:	Concreto	tem:	
Certificado:	03		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	162 [kN]		
Rm:	2.7 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1D



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071517		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	04		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	83 [kN]		
Rm:	1.4 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

II Técnico

El Verificador



ANEXO 1E



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071519		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	05		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm²·sec)]		
Fm:	262 [kN]		
Rm:	4.4 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1F



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071522		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	06		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² ·sec)]		
Fm:	158 [kN]		
Rm:	2.6 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1G



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071525		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	07		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm²·sec)]		
Fm:	254 [kN]		
Rm:	4.2 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1H



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071526		
Lote:		Colada:	
Material:	Concreto	tem:	
Certificado:	08		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm²·sec)]		
Fm:	195 [kN]		
Rm:	3.3 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 11



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071528		
Lote:		Colada:	
Material:	Concreto	tem:	
Certificado:	09		
Ciente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm².sec)]		
Fm:	149 [kN]		
Rm:	2.5 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1J



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071530		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	10		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	129 [kN]		
Rm:	2.1 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

II Técnico

El Verificador



ANEXO 1K



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071531		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	11		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	250 [kN]		
Rm:	4.2 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1L



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071533		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	12		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm²·sec)]		
Fm:	206 [kN]		
Rm:	3.4 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO1M



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071535		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	13		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	261 [kN]		
Rm:	4.4 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1N



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071536		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	14		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ³]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	204 [kN]		
Rm:	3.4 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

II Técnico

El Verificador



ANEXO 10



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071538		
Lote:		Colada:	
Material:	Concreto	tem:	
Certificado:	15		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm².sec)]		
Fm:	223 [kN]		
Rm:	3.7 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1P



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071540		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	16		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm ²]		
Vol.:	12000000 [mm ³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]		
Fm:	60 [kN]		
Rm:	1.0 [N/mm ²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador



ANEXO 1Q



Certificado de prueba

Pruebas N°	200908071542		
Lote:		Colada:	
Colada:		tem:	
Material:	Concreto		
Certificado:	17		
Cliente:	Carlos Sanchez		
Fabricante:			
Fecha:	7 de Agosto de 2009		
Sec. Tipo:	Rectangular		
Lado 1:	400 [mm]		
Lado 2:	150 [mm]		
Lt:	200 [mm]		
Sec.:	60000 [mm²]		
Vol.:	12000000 [mm³]		
Lo:	200 [mm]		
Prueba:	Compresión		
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm²·sec)]		
Fm:	86 [kN]		
Rm:	1.4 [N/mm²]		
f:	0.00 [mm]		
Metodo de prueba:			
Máquina de prueba:	Metro Com	Fecha calibración:	29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador